



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANTONIA PATRICIA DIAS CHAVES

**DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE EM LINGUAGEM VISUAL BASIC
FOR APPLICATIONS (VBA) PARA ESTIMATIVA DO BALANÇO HIDRICO
CLIMATOLÓGICO**

PAU DOS FERROS

2021

ANTONIA PATRÍCIA DIAS CHAVES

**DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE EM LINGUAGEM VISUAL BASIC
FOR APPLICATIONS (VBA) PARA ESTIMATIVA DO BALANÇO HIDRICO
CLIMATOLÓGICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentada à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Centro Multidisciplinar de Pau dos
Feros – CMPF, como requisito para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Wesley de Oliveira
Santos

PAU DOS FERROS

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C512d Chaves, Antonia Patrícia Dias.
Desenvolvimento de um Software em Linguagem
Visual Basic for Applications (VBA) para
estimativa do Balanço Hídrico Climatológico /
Antonia Patrícia Dias Chaves. - 2021.
46 f. : il.

Orientador: Wesley de Oliveira Santos.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2021.

1. Excel. 2. Precipitação. 3. Evapotranspiração
de Referência. I. Santos, Wesley de Oliveira,
orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 1115

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ANTONIA PATRÍCIA DIAS CHAVES

**DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE EM LINGUAGEM VISUAL
BASIC FOR APPLICATIONS (VBA) PARA ESTIMATIVA DO BALANÇO
HIDRICO CLIMATOLÓGICO**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 18/11/2021

BANCA EXAMINADORA

WESLEY DE OLIVEIRA
SANTOS:01354154380

Assinado de forma digital por WESLEY
DE OLIVEIRA SANTOS:01354154380
Dados: 2021.11.20 18:59:00 -03'00'

Wesley de Oliveira Santos, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

KYTERIA SABINA LOPES DE
FIGUEREDO:04965705440

Assinado de forma digital por KYTERIA
SABINA LOPES DE FIGUEREDO:04965705440
Dados: 2021.11.22 10:48:47 -03'00'

Kytéria Sabina Lopes de Figueredo, Profa. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

SHARON DANTAS DA
CUNHA:01085089436

Assinado de forma digital por SHARON
DANTAS DA CUNHA:01085089436
Dados: 2021.11.22 09:57:11 -03'00'

Sharon Dantas da Cunha, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

*Dedico à Deus.
Aos meus pais, Raimundo Gregório e Maria Aparecida.*

AGRADECIMENTOS

À Deus pelas bençãos diárias, pela dádiva da vida e por me permitir enfrentar a pandemia sem perder ninguém da minha família.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Wesley de Oliveira Santos, por sua compreensão, competência, dedicação e paciência. Pelo exemplo de profissionalismo e ser humano admirável.

Aos Profs. Dra. Kytéria Sabina Lopes de Figueredo e Dr. Sharon Dantas da Cunha, pela dedicação e pelas valiosas contribuições neste trabalho.

Aos meus pais: Raimundo Gregório e Maria Aparecida, por todo amor, paciência e fortaleza, principalmente por serem aqueles que sempre acreditam em mim, vocês são meu mundo.

Ao meu irmão Paulo Wigenes por quem tenho grande admiração, por estar sempre comigo, por me ajudar, apoiar e por todo o amor.

À Maria do Carmo (Cacau) e Igor Mateus que se tornaram minha segunda família, segunda mãe e irmão.

À Pedro Henrique, por sempre acreditar em mim e me apoiar, pela compreensão, atenção, e por ser essa pessoa incrível.

À Mãe Pessa, pela amizade, companheirismo, pela paciência durante estes anos e pelo laço de irmão que nos une.

Aos amigos Graziely Alburquerque, Wisley Rocha, Linara Chaves, Jayane Matiniano e Diego Albuquerque por serem luz na minha vida.

A todos os amigos e familiares que de forma direta e indireta contribuíram para a realização do sonho de me tornar Engenheira Civil.

Explicar a natureza é uma tarefa difícil demais para qualquer homem ou para qualquer época. É muito melhor fazer um pouco e com certeza deixar o resto para os outros que vêm depois de você. (Isaac Newton)

RESUMO

A água é um dos elementos indispensáveis e insubstituíveis para a existência da vida humana na Terra, pois está presente na realização de toda e qualquer atividade que possa ser realizada. Na agricultura por exemplo é um dos fatores condicionantes para uma boa colheita, pois ela proverá o desenvolvimento e estabilidade das culturas. Porém um fato importante e preocupante que vem sendo agravado ao longo dos anos é que por ser um bem finito, a água está ficando cada vez mais escassa, e por este motivo a humanidade se empenha em buscar formas de otimizar e gerenciar o seu consumo de uma maneira consciente, na agricultura por exemplo, conhecer a disponibilidade hídrica do solo facilita para controlar a irrigação e evitar o desperdício. Existem algumas formas de inteirar-se com relação a quantidade de água disponível no solo, uma delas é estimando por meio cálculo do Balanço Hídrico, de forma que apenas sabendo o volume de entrada e saída de água é possível saber o volume que fica retido em uma determinada área de controle. Este cálculo pode ser realizado de forma manual ou auxiliado por algum programa computacional de uma maneira mais rápida e eficiente. Este trabalho desenvolveu um programa que realiza esse cálculo, de forma simples e de fácil utilização, com uma interface intuitiva para que os usuários possam utilizar sem dificuldades, ao elaborar a proposta realizamos um comparativo ao calcular de forma manual e no programa utilizando dados da estação meteorológica Jerônimo Rosado da UFERSA em Mossoró, ao verificar os resultados que mostraram que o programa é capaz de calcular o balanço hídrico de qualquer cidade desde que se tenha os dados de Evapotranspiração de referência e Precipitação médios. Desta forma, concluímos que nosso trabalho cumpriu com os objetivos propostos.

Palavras-chave: Excel; Precipitação; Evapotranspiração de Referência.

ABSTRACT

Water is one of the indispensable and irreplaceable elements for the existence of human life on Earth, as it is present in the performance of any and all activities that may be carried out. In agriculture, for example, it is one of the conditioning factors for a good harvest, as it will provide for the development and stability of crops. However, an important and worrying fact that has been aggravated over the years is that, as it is a finite good, water is becoming increasingly scarce, and for this reason humanity strives to seek ways to optimize and manage its consumption of a conscious way, in agriculture for example, to know the water availability of the soil makes it easier to control irrigation and avoid waste. There are some ways to find out about the amount of water available in the soil, one of them is estimated by calculating the Water Balance, so that just by knowing the inflow and outflow of water it is possible to know the volume that is retained in a specific area of control. This calculation can be performed manually or aided by some computer program in a faster and more efficient way. This work calculated a program that performs this calculation, in a simple and easy-to-use way, with an intuitive interface so that users can use the difficulties, when preparing the proposal, we carry out a comparison by manually calculating and not using data from the weather station Jerônimo Rosado from UFERSA in Mossoró, upon verifying the results that reduce the program, it is able to calculate the water balance of any city as long as it has reference Evapotranspiration and Average Precipitation data. Thus, we conclude that our work met the proposed objectives.

Keywords: Excel; Precipitation; Reference Evapotranspiration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	–	Balanço hídrico climatológico.....	18
Figura 02	–	Layout inicial	21
Figura 03	–	Aba Gráfico	22
Figura 04	–	Aba Resultados	23
Figura 05	–	Aba Resultados continuação.....	24
Figura 06	–	Página de Impressão.....	25
Figura 07	–	Página de Impressão continuação	26
Figura 08	–	Localização de Mossoró	27
Figura 09	–	Gráfico do Balanço Hídrico Climatológico de Mossoró de uma série de 38 anos	36
Figura 10	–	Balanço Hídrico Climatológico de Mossoró de uma série de 38 anos	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	–	Dados de Evapotranspiração de referência e Precipitação	33
Tabela 02	–	Resultados obtidos pela realização do cálculo manual	33
Tabela 03	–	Resultados obtidos pela realização do cálculo por meio do software	34
Tabela 04	–	Aferições	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Ascensão Capilar
ALT	Alterações
ARM	Armazenamento
BHC	Balanço Hídrico Climatológico
CAD	Capacidade De Água Disponível
DEF	Deficiência Hídrica
DLi	Drenagem Lateral
DLo	Drenagem Lateral
DP	Drenagem Profunda
Dr	Doutor
ET	Evapotranspiração
ETo	Evapotranspiração de Referência
ETR	Evapotranspiração Real
EXC	Excedente Hídrico
I	Irrigação
NEG_ACUM	Negativo Acumulado
O	Orvalho
P	Precipitação
Ri	Escurrimto Superficial
Ro	Escurrimto Superficial
VBA	Visual basic for applications

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral.....	16
2.2 Objetivos Específicos	16
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1 Visual Basic for Applications (VBA).....	17
3.2 Balanço hídrico climatológico	17
3.2.1 Método Thornthwaite e Mather (1955)	19
4 MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1 Estrutura do software.....	20
4.1.1 Dados.....	20
4.1.2 Gráfico do balanço hídrico	22
4.1.3 Resultados	23
4.2 Dados climáticos.....	26
4.3 Descrição dos cálculos da planilha	28
4.3.1 Capacidade de armazenamento de água no solo (CAD)	28
4.3.2 Precipitação menos Evapotranspiração de Referência (P-ETO)	28
4.3.3 Negativo acumulado (NEG_ACUM).....	29
4.3.4 Armazenamento de água (ARM)	29
4.3.5 Alterações no armazenamento (ALT)	30
4.3.6 Evapotranspiração real (ETr)	30
4.3.7 Deficiência hídrica (DEF)	30
4.3.8 Excedente hídrico (EXC)	31
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1 Cálculo	33
5.2 Gráfico	35

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
REFERÊNCIAS	40
APÊNDICE A – Criação do ambiente	42
APÊNDICE B – Passo a passo de uso do Software	43

1 INTRODUÇÃO

O uso de água para irrigação de culturas é condicionante para o desenvolvimento, estabilidade e garantia da cultura e visando a melhor forma de empregar a água, potencializando sua economia seria conhecer a disponibilidade hídrica no solo, bem como as condições climáticas de determinada região na qual se deseja cultivar, dessa forma é importante o desenvolvimento de técnicas que auxiliam na sustentabilidade dessas atividades agrícolas.

Existem regiões em que há muita chuva apenas por um determinado período e o resto do ano apresenta estiagem, em outros ocorrem chuvas constantes distribuídas durante o ano inteiro, desta forma não é difícil constar que nessas regiões apresentam características para cultivo de determinada cultura, porém devemos ter um certo controle quanto a quantidade de água que entra e que sai no solo para poder ter a garantia de um bom desempenho, esse controle caracteriza o que chamamos de balanço hídrico que irá ter influência na determinação de qual cultura é mais indicada para uma determinada localidade, de acordo com a quantidade de água que permanece no solo. (CARNEVSKIS, 2018)

O balanço hídrico climatológico (BHC) tem sido utilizado pelo setor da agricultura, principalmente na irrigação de culturas no intuito de controlar o uso da água, quando apresenta com um certo grau de confiabilidade a quantidade de água existente no solo e a partir dos resultados podemos saber qual cultura é adequada ou não para uma determinada localidade.

De forma geral, o balanço hídrico, desenvolvido por Thornthwaite e Mather em 1955, é a contabilização da água presente no solo, determinado o volume de água armazenado em um volume por um intervalo de tempo que representa o volume que entrou e o que saiu deste “volume de controle” (CARNEVSKIS, 2018).

Por ser uma ferramenta capaz de determinar a quantificação de entrada e saída de água em um sistema durante um determinado intervalo de tempo o balanço hídrico mostra-se de suma importância para compreender os processos envolvidos no ciclo hidrológico de uma região, inclusive é possível realizar este balanço para um trecho de um rio, camada de solo, bacia hidrográfica ou mesmo um sistema de abastecimento de água. Permite ainda, realizar a classificação do clima de uma região, assim como o zoneamento climático e ambiental, o período em que há a disponibilidade ou a necessidade de água no solo, e assim favorece o gerenciamento de recursos hídricos.

O objetivo inicial do balanço hídrico climatológico era caracterizar o clima de uma região, porém, esse método começou a ser empregado para fins agrônômicos. São utilizados dados como temperatura média, chuva de um determinado local, evaporação e é possível obter

informações sobre aptidão agrícola, necessidade de irrigação ou mesmo seu rendimento. (MACHADO, 2017)

Além da agronomia, outra área que se beneficia com os conhecimentos acerca do Balanço Hídrico Climatológico é o da Engenharia Civil, por exemplo na construção de redes de drenagem, fundações, estradas e barragens, verificamos a importância de conhecimentos acerca do ciclo hidrológico. A partir do planejamento adequado do sistema de drenagem, é pode-se evitar problemas futuros como a vazão do projeto ser menor do que a realidade da região. Outra consideração importante faz-se necessária com relação ao custo da obra, assim como a rede pode não aguentar a vazão exigida, pode-se gastar mais do que o necessário em um projeto superdimensionado (FRAGA et.al, 2016).

O cálculo do balanço hídrico climatológico exige que sejam considerados uma série de fatores levando a ações repetidas que podem ser feitas manualmente ou utilizando as fórmulas no Microsoft Excel, preenchendo célula por célula com fórmulas diversas, o que levam a dois problemas: o tempo utilizado para digitar os cálculos nas planilhas e ainda pode ocorrer prováveis erros de digitação quando a planilha se torna muito extensa que ao se tentar selecionar uma célula acaba por acidente selecionando outra.

Assim este trabalho propõe um programa computacional para realizar o cálculo do balanço hídrico para proporcionar uma maneira mais rápida, prática e de fácil utilização para quem for utilizar, fazendo com que se obtenha resultados em tempo mais hábil, inserindo apenas os dados iniciais chegar ao resultado que levariam horas para ser calculado e ainda com uma interface que seja de fácil compreensão para que leigos também possam utilizar.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um programa computacional escrito em linguagem Visual Basic for Applications (VBA) integrada ao Microsoft Excel voltado para o Balanço Hídrico Climatológico.

2.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um software em linguagem VBA executável no aplicativo Microsoft Excel com interface de fácil manipulação;
- Elaborar um algoritmo capaz de calcular o balanço hídrico climatológico;
- Avaliar os resultados calculados pelo software realizando a comparação com os valores obtidos por cálculo manual, além de gerar o seu gráfico.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Visual Basic for Applications (VBA)

O termo VBA significa Visual Basic for Applications ou Visual Basic para aplicações que é uma linguagem de programação baseada no Visual Basic, que foi desenvolvida pela Microsoft, sendo assim compartilhado por todos os aplicativos, dentre eles o Excel. Em resumo, o VBA é utilizado para desenvolver programas para o Excel, conhecidos como macro. (ALEXANDER, 2021)

O macro representa um programa muito usado em situação de repetições de ações evitando o desperdício de tempo para execução e minimizar as falhas, o macro pode ser criado no Excel como também em outros programas da Microsoft Office, como o Access e pode ser composta por comandos que quando acionados por programa executa todo o passo a passo planejado. (CHAMON, 2019).

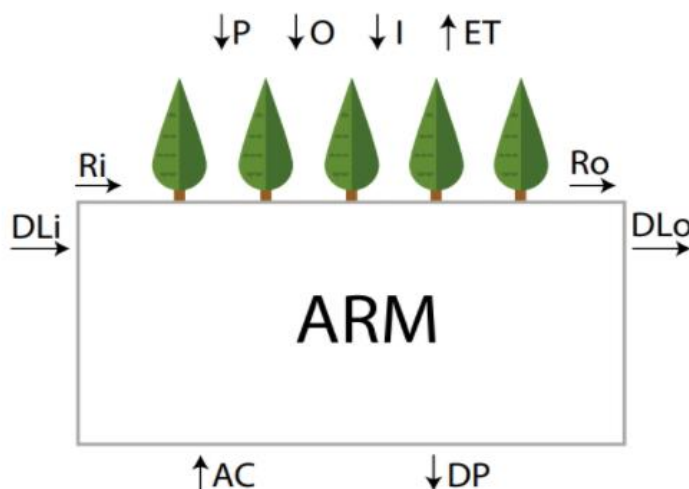
É possível realizar diversas tarefas com o VBA além de criar macros no Microsoft Excel: navegar em páginas da internet, escrever documentos em Word, criar arquivos no PowerPoint, enviar e-mails, acessar Banco de Dados como o Access, Oracle, entre outros, baixar arquivos da internet, gravar arquivos em PDF, converter arquivos PDF e navegar nas telas do SAP. (CHAMON, 2019).

3.2 Balanço hídrico climatológico

O Balanço Hídrico Climatológico (BHC) representa a contabilização da entrada e saída de água de uma determinada parcela do solo, sem necessariamente fazer medições diretamente no solo. Admite-se que essa parcela seja representativa para toda a área em estudo.

De acordo com Carnevskis (2018), nas entradas no balanço hídrico, haverá: precipitação (P), irrigação (I), orvalho (O), escoamento superficial (Ri), drenagem lateral (DLi) e ascensão capilar (AC); já as saídas do balanço hídrico, haverá: evapotranspiração (ET), escoamento superficial (Ro), drenagem lateral (DLo) e drenagem profunda (DP). As entradas e saídas citadas podem ser observadas na figura 01.

Figura 01 – Balanço hídrico climatológico



Fonte: CARNEVSKIS, 2018

A precipitação (P) é qualquer fenômeno que caracteriza a queda de água do céu, a irrigação (I) é uma técnica utilizada na agricultura que fornece água controlada para as plantas em quantidade suficiente e no momento certo, o orvalho (O) é um fenômeno que ocorre quando a umidade do ar precipita por condensação na forma de gotas, o escoamento superficial (Ri e Ro) corresponde ao deslocamento das águas sobre a superfície do solo, a drenagem (DLi e DLo) é a água que escoar por baixo da terra em terrenos encharcados, e por fim, a ascensão capilar (AC) é um fenômeno que descreve o movimento da água dos poros do solo, de uma cota inferior para uma cota superior, a evapotranspiração (ET) é o processo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e da vegetação úmida e por transpiração das plantas e a drenagem profundo (DP) é o movimento da água para as cotas inferiores abaixo do solo. Na figura “ARM” é correspondente ao volume que ficará armazenado neste volume de controle.

As variáveis utilizadas para determinar o Balanço Hídrico Climatológico podem mudar de acordo com alguns fatores, como a época do ano e o tipo de solo. Na região nordeste do país, por exemplo existe a época chuvosa e na maior parte dos meses há estiagem, durante a época chuvosa certamente existe maior incidência de água presente no solo, ao contrário do que ocorre nos longos períodos de estiagem.

O Balanço Hídrico Climatológico foi desenvolvido inicialmente com o objetivo de se caracterizar o clima de uma região, posteriormente, esse método começou a ser empregado para fins agrônômicos, visto que a agricultura e a meteorologia possuem relação intrínseca (MACHADO, 2017).

De acordo com a literatura existem o Balanço Hídrico Climatológico Normal e o Sequencial. O normal é obtido por meio de dados médios de precipitação e evapotranspiração e indica disponibilidade hídrica média para um ano e fornece dados importantes para o planejamento agrícola, já o sequencial é obtido por dados de um determinado período ou uma sequência de períodos, como dias, semanas, meses ou anos, os resultados fornecem a caracterização e a variação sazonal ao longo da sequência que está sendo analisada (MACHADO, 2017).

3.2.1 Método Thornthwaite e Mather (1955)

Existem diversos métodos para se realizar o cálculo do balanço hídrico climatológico, porém estes métodos são selecionados conforme o objetivo que deseja alcançar. O Balanço Hídrico Climatológico desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955) é muito utilizado para o monitoramento do armazenamento de água no solo, possibilitando facilmente a identificação das épocas de deficiência e excedente hídrico, a contabilização da entrada e saída de água para determinada região, e também a classificação climática. (OLIVEIRA E OLIVEIRA, 2019)

No método de Thornthwaite e Mather (1955) os dados de entrada se resumem apenas a Precipitação (P) e os de saída a Evapotranspiração de Referência (ET_o) e utiliza também a seleção da Capacidade de Água Disponível (CAD) que varia de acordo com alguns fatores entre os quais podemos citar o solo e a cultura que se deseja cultivar. A partir deste fluxo de entrada e saída é possível conhecer quais são os valores de escoamento superficial, deficiência hídrica, evapotranspiração real e o total de água retida no solo em cada intervalo de tempo (MACHADO, 2017).

O balanço hídrico é obtido computando a demanda e a disponibilidade, que servem de base para o cálculo da estimativa de deficiência hídrica (DEF) que é a falta de água no solo e excedente hídrico (EXC) que seria a água em excesso no solo. Através do conhecimento desse fluxo de entrada e saída de água no solo, ou seja, do balanço hídrico, que são definidos os períodos com deficiência e com excedente hídrico, permitindo desta forma a classificação climática da região (MATOS, 2020).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi elaborada uma ferramenta capaz de calcular o balanço hídrico climatológico. Para isso realizou-se uma pesquisa exploratória no intuito de coletar informações úteis acerca da linguagem Visual Basic for Applications para a criação de um macro executável e sobre os diversos métodos utilizados para o cálculo da estimativa do balanço hídrico climatológico, ao qual optou-se por utilizar o de Thornthwaite e Mather (1955) que utilizam dados de Evapotranspiração, Precipitação e Capacidade de Água Disponível (CAD).

Os dados de Evapotranspiração de Referência utilizados neste trabalho foram obtidos pelo método de Penman-Monteith, na impossibilidade de se obter ETo experimentalmente, a sua determinação é feita empregando-se métodos meteorológicos, sendo que o de é considerado atualmente o método padrão para cálculo da ETo conforme (ITENFISU et al., 2003). O método combinado de Penman-Monteith para cálculo de ETo da cultura hipotética, sendo incorporada a resistência da superfície de 70 s/m e com a resistência aerodinâmica fixada para grama, em 0,12 m de altura uniforme a ETo pode ser expressa, segundo (SANTOS, 2010).

4.1 Estrutura do software

A utilização do VBA no Excel se dá por meio da guia “Desenvolvedor”, basta clicar na opção “Visual Basic” ou mesmo por meio dos atalhos “ALT + F11” ou “ALT + FN + F11”. A partir daí, podemos desenvolver os códigos como podemos observar no Apêndice A, em que transformamos o macro em um executável.

4.1.1 Dados

Ao iniciar o software, será exibida uma tela contendo três abas (Dados, Gráfico e Resultados), na qual estará selecionada a aba “Dados”, conforme pode-se observar na Figura 02.

Figura 02 – Layout inicial

BALANÇO HÍDRICO NORMAL

DADOS GRÁFICO RESULTADOS

Precipitação (P)[mm]:

JAN: FEV: MAR: ABR: MAI: JUN: JUL: AGO: SET: OUT: NOV: DEZ:

Evapotranspiração de Referencia (ETo)[mm]:

JAN: FEV: MAR: ABR: MAI: JUN: JUL: AGO: SET: OUT: NOV: DEZ:

Capacidade de armazenamento de água no solo (CAD) [mm]

LOCAL:

PERÍODO [anos]:

INSERIR DADOS LIMPAR DADOS EXIBIR PLANILHA

PRÓXIMA ABA

Fonte – Autora (2021)

Nesta aba temos a tela inicial do software, onde é obrigatório preencher com os dados de precipitação e evapotranspiração médios mensais em milímetros, capacidade de armazenamento de água no solo também em milímetros, o local (pode ser a cidade) na qual se coletou os dados para realizar a estimativa do Balanço Hídrico Climatológico pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), e é possível também inserir os dados com relação ao total de anos na qual foram coletados os dados de precipitação e evapotranspiração. Após o preenchimento de todos os dados deve-se clicar no botão “INSERIR DADOS” para que estes sejam inseridos e calculados pelo programa.

Nesta mesma aba há a opção de clicar no botão “EXIBIR PLANILHA”¹ que irá abrir a planilha utilizada para os cálculos. Após todos os procedimentos realizados, caso necessite usar

¹ Uma informação muito importante acerca do programa, é que para fechar o programa é necessário clicar no botão “Fechar” no canto superior direito, porém para que não dê erro no mesmo, é imprescindível antes de encerrar clicar no botão “EXIBIR PLANILHA”, pois ao encerrar só o programa a planilha fica aberta de modo que não podemos ver. A mesma informação também se aplica ao usuário que deseja realizar a impressão dos cálculos, antes de clicar no botão “IMPRIMIR CÁLCULO” deve-se clicar em “EXIBIR PLANILHA” para que a ação seja realizada com sucesso.

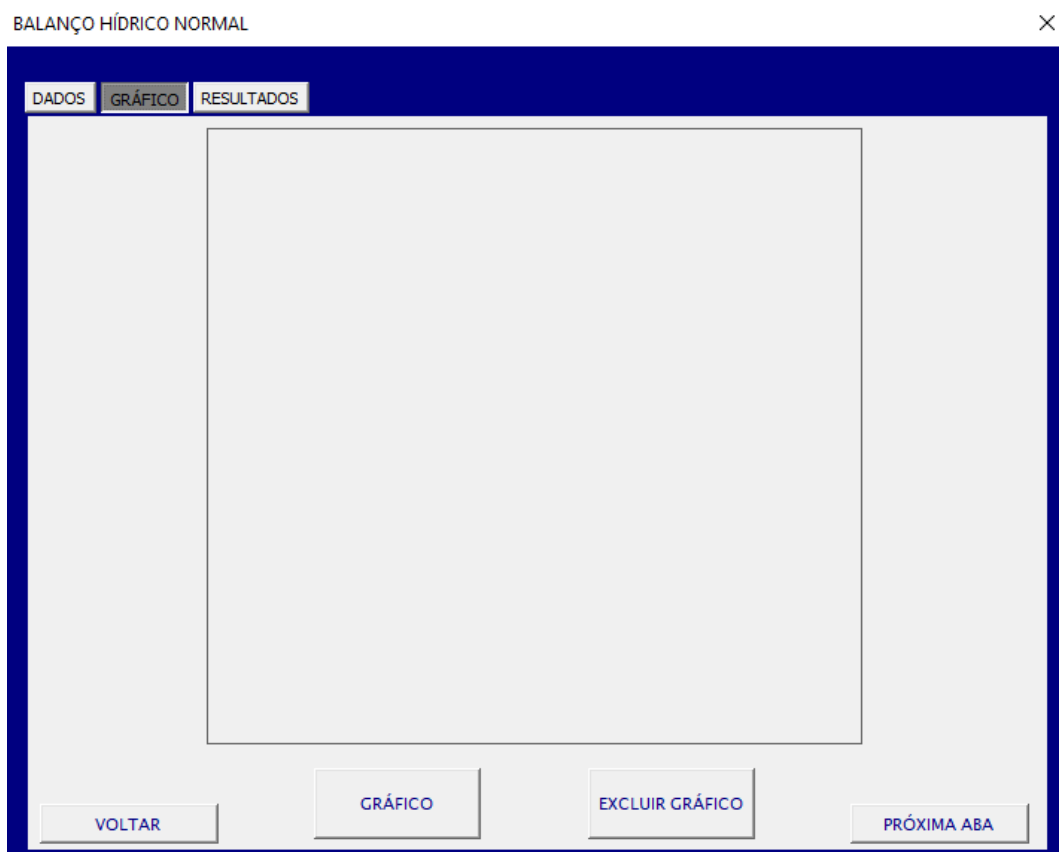
novamente o software para um novo cálculo, ao clicar no botão “LIMPAR DADOS”, irá apagar os dados que havia nos espaços e o cursor irá se posicionar na primeira lacuna do canto esquerdo aguardando o usuário digitar os dados.

Ao finalizar a rotina dessa aba, no canto inferior direito há um botão “PRÓXIMA ABA” que é bastante intuitivo, sua funcionalidade é passar para a aba seguinte, a do “Gráfico”.

4.1.2 Gráfico do balanço hídrico

Na segunda aba (Gráfico), intuitivamente é onde podemos visualizar o gráfico do balanço hídrico após inserir os dados, porém antes de inserir os dados apenas visualizamos um quadro onde o mesmo será exibido, como está ilustrado na Figura 03.

Figura 03 – Aba Gráfico



Fonte – Autora (2021)

Ao inserir os dados de precipitação e Evapotranspiração na aba “DADOS”, nesta seção é possível visualizar o gráfico gerado na planilha ao clicar no botão “GRÁFICO”. Caso o

usuário deseje não visualizar o gráfico no programa, basta clicar no botão “EXCLUIR GRÁFICO” e a tela ficará sem nenhuma imagem, como na figura 3 acima.

No canto inferior esquerdo existe o botão “VOLTAR” que ao ser clicado irá retornar para aba de “DADOS” e o no canto inferior direito há um botão intuitivo de “PRÓXIMA ABA” que irá avançar para a aba de resultados.

4.1.3 Resultados

Nesta aba temos um quadro com uma barra de rolagem horizontal, a partir dela temos os resultados obtidos após o cálculo, nas Figuras 04 e 05.

Figura 04 – Aba Resultados

BALANÇO HÍDRICO NORMAL

DADOS GRÁFICO RESULTADOS

MÊS	ET _o	P	P-ET _o	NEG_ACUM	ARM (mm)	ALT (mm)
JAN			0	0	100	0
FEV			0	0	100	0
MAR			0	0	100	0
ABR			0	0	100	0
MAI			0	0	100	0
JUN			0	0	100	0
JUL			0	0	100	0
AGO			0	0	100	0
SET			0	0	100	0
OUT			0	0	100	0
NOV			0	0	100	0
DEZ			0	0	100	0
TOTAL	0,00	0,00	0	0	1200	0

AFERIÇÕES

1	0,00	0,00
2	0,00	
3	0,00	0,00
4	0,00	0,00

IMPRIMIR CÁLCULO EXIBIR PLANILHA

VOLTAR

Fonte – Autora (2021)

Figura 05 – Aba Resultados continuação

BALANÇO HÍDRICO NORMAL

DADOS GRÁFICO RESULTADOS

NEG_ACUM	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF(mm)	EXC (mm)
0	100	0	0	0	0
0	100	0	0	0	0
0	100	0	0	0	0
0	100	0	0	0	0
0	100	0	0	0	0
0	100	0	0	0	0
0	100	0	0	0	0
0	100	0	0	0	0
0	100	0	0	0	0
0	100	0	0	0	0
0	100	0	0	0	0
0	100	0	0	0	0
0	100	0	0	0	0
0	1200	0	0	0	0

AFERIÇÕES

1	0,00	0,00
2	0,00	
3	0,00	0,00
4	0,00	0,00

IMPRIMIR CÁLCULO EXIBIR PLANILHA

VOLTAR

Fonte – Autora (2021)

Verifica-se o resultado completo após rolar a barra, desde os resultados de Negativo Acumulado (NEG_ACUM), Armazenamento (ARM), Alterações (ALT), Evapotranspiração real (ETR), Deficiências (DEF) até Excedentes (EXC).

Nas duas figuras podemos ver o mesmo quadro logo abaixo, nele temos escrito “AFERIÇÕES”, essas aferições são apresentadas nas equações 1, 2, 3 e 4 que estão dispostas abaixo:

$$\sum_1^{12} P = \sum_1^{12} ETO + \sum_1^{12} (P - ETO) \quad (1)$$

$$\sum_1^{12} ALT = 0 \quad (2)$$

$$\sum_1^{12} ETO = \sum_1^{12} ETR + \sum_1^{12} DEF \quad (3)$$

$$\sum_1^{12} P = \sum_1^{12} ETR + \sum_1^{12} ALT + \sum_1^{12} EXC \quad (4)$$

Ainda na aba de resultados podemos visualizar em uma página de impressão os resultados dos cálculos e o gráfico gerado, como demonstrado por meio das Figuras 06 e 07,

clicando no botão “IMPRIMIR CÁLCULO”, lembrando que antes de ir para a página de impressão, devemos abrir a planilha no botão “EXIBIR PLANILHA” para não dar erro na execução do Excel. E por fim, na aba de resultados há um botão de “VOLTAR” que ao ser clicado retorna para a aba de Gráfico.

Figura 06 – Página de Impressão

VERSÃO FINAL - Excel

Arquivo Visualização de Impressão Diga-me o que você deseja fazer

Imprimir Configurar Página Zoom Próxima Página Página Anterior Mostrar Margens Fechar Visualização de Impressão Visualizar

26/10/2021

BALANÇO HÍDRICO NORMAL METODOS THORNTHWAITE E MATHER

CAD: 100mm

MÊS	ETa	P	P-ETO	NEG. ACUM	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	CAD (mm)
JAN	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
FEV	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
MAR	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
ABR	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
MAI	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
JUN	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
JUL	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
AGO	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
SET	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
OUT	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
NOV	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
DEZ	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
TOTAL	0,00	0,00	0	0	1200	0	0	0	0	0

AFERIÇÕES

1	0,00	0,00
2	0,00	0,00
3	0,00	0,00
4	0,00	0,00

CIDADE:

PERÍODO:

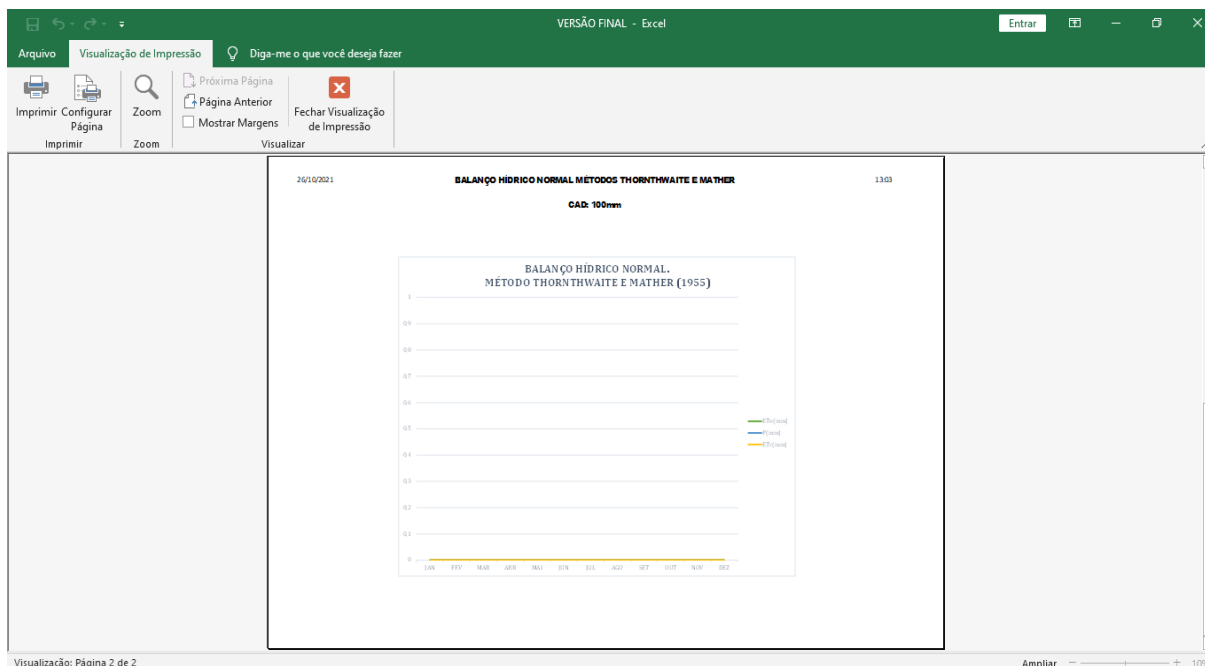
CALCULAR

Visualização: Página 1 de 2

Ampliar 10%

Fonte – Autora (2021)

Figura 07 – Página de Impressão continuação



Fonte – Autora (2021)

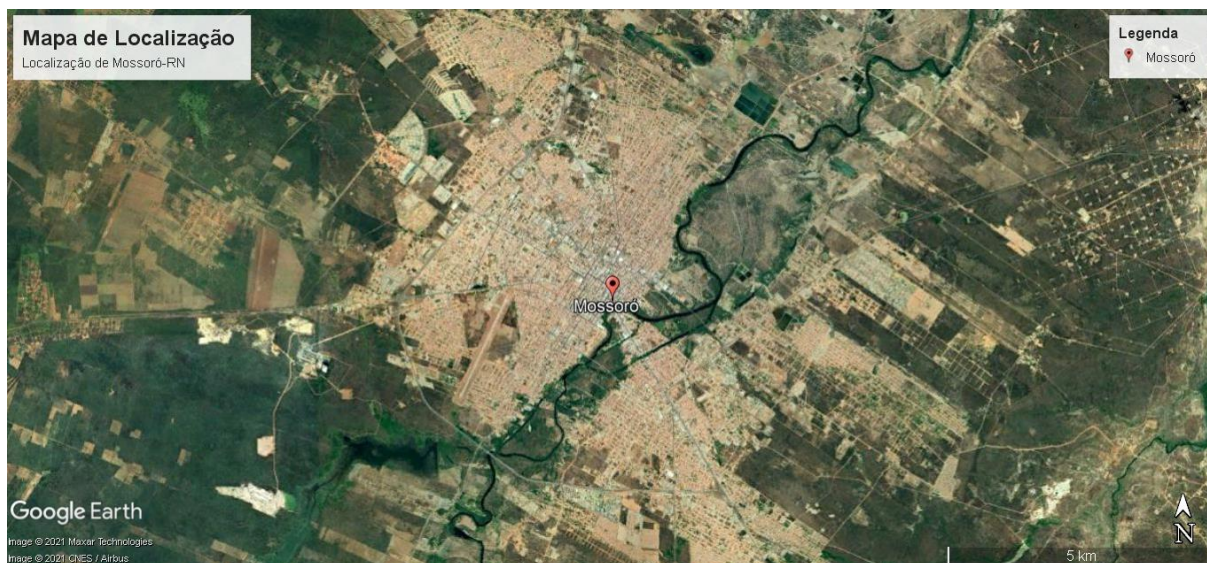
Na visualização de impressão constam duas páginas, em uma contém os cálculos e aferições, informações sobre a cidade e o período na qual foram coletados os dados, além da Capacidade de Armazenamento de Água (CAD). Na página seguinte é apresentado o gráfico do balanço hídrico gerado pelos valores de evapotranspiração de referência, precipitação e evapotranspiração real para ser interpretado.

Ao realizar todas as etapas e finalizar a execução do programa, obrigatoriamente a planilha já deve estar aberta, caso queira encerrar o programa, apenas clique no botão “Fechar” no canto superior direito e ficara aberta a planilha com os cálculos. Caso queira novamente inserir novos dados e executar novamente o programa, é necessário clicar no botão “CALCULAR” que está na planilha (inclusive é possível visualizar este botão na folha de impressão) e ele irá abrir o programa novamente na aba de inserir os dados.

4.2 Dados climáticos

Os dados climáticos utilizados para fins de construção de nossa planilha foram obtidos pela estação meteorológica Jerônimo Rosado da UFERSA em Mossoró, que está representada na Figura 08, por registros de uma série histórica de 38 anos (1970 a 2007).

Figura 08 – Localização de Mossoró



Fonte – Google Earth (2021)

A estação possui as seguintes coordenadas geográficas: 5° 11' S e 37° 20' W a 1,5m de altura da superfície, com altitude de 40,5 m acima do nível do mar, estando localizado a apenas 40 km do Atlântico Norte. O clima local apresenta uma temperatura média anual em torno de 27,5 °C e umidade relativa de 68,9% (CARMO FILHO et al, 1991). A precipitação média anual é de 670 mm e, a evapotranspiração média anual está em torno de 1945,20 mm e a insolação média de 236 h/mês, sendo os meses mais secos de maior insolação. Segundo classificação climática de Köppen, o clima de Mossoró é do tipo BSw^h, ou seja, quente e seco, com estação chuvosa no verão, atrasando-se para o outono. (SANTOS, 2010, p.34)

Os dados de evapotranspiração de referência foram estimados pelo método de Penman-Monteith sendo organizados em planilha do software Excel de modo que foi determinado os valores médios mensais no período analisado. Nas áreas que não dispõem de grande número de dados meteorológicos vários autores sugerem o uso deste método, que necessita apenas dados de temperatura, umidade, vento, insolação e radiação. Além disso, o método de Penman-Monteith apresenta resultados mais precisos para a avaliação dos efeitos no clima sobre a evapotranspiração. (SANTOS, 2010)

Segundo Allen et al. (1998) e Pereira (2004) a evapotranspiração de referência (ET_o) depende somente dos elementos do clima. A ET_o expressa o poder de evaporação da atmosfera de um local e tempo específico e não leva em consideração as características da cultura e fatores do solo. O método de Penman-Monteith, recomendado pela FAO para o cálculo da ET_o, é o melhor método a se utilizar quando se tem dados climáticos completos (ALLEN et al., 2007), e assim poder estimar as necessidades de água para a irrigação. (SANTOS, 2010, p. 28)

O objetivo ao utilizar este método de Penman-Monteith para a estimativa padronizada para a Evapotranspiração de Referência (ET_o) é a obtenção de dados confiáveis para a estimativa do balanço hídrico climatológico, já que alguns autores o citam como padrão. Inúmeros modelos para a estimativa da ET_o são citados na literatura (PEREIRA et al., 1997), sendo o grau de acurácia dos resultados influenciado, em maior ou menor grau, pelas condições climáticas da região em estudo. (SOUZA, 2017).

Os dados de Precipitação de Mossoró utilizados neste trabalho compreendem o mesmo período de 1970 a 2007, e tem como base a base de dados da EMPARN, estes encontram-se em Santos (2010).

4.3 Descrição dos cálculos da planilha

4.3.1 Capacidade de armazenamento de água no solo (CAD)

A CAD é a lâmina de água correspondente ao intervalo de umidade do solo entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, e no cálculo do balanço hídrico pelo método de Thornthwaite e Mather (1955) que é mais utilizado para caracterização da disponibilidade hídrica de uma região, a CAD varia de acordo com o tipo de cultura que se quer aplicar naquele tipo de solo. Dessa forma, sem considerar o tipo de solo, pode-se adotar valores entre 25 e 50mm, para hortaliças; entre 75 e 100mm, para culturas anuais; entre 100 e 125mm, para culturas perenes; e entre 150 e 300 mm, para espécies florestais (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007). Por este mesmo viés utilizamos a CAD de 100mm, para culturas anuais.

4.3.2 Precipitação menos Evapotranspiração de Referência (P-ET_o)

Na tabela compõe a primeira coluna após a inserção dos dados de precipitação, apresenta o primeiro cálculo realizado que é a subtração dos valores de Precipitação dos valores de Evapotranspiração de referência. Quando valores de P-ET_o resultam positivos, logo a precipitação média foi maior que a evaporação média, já para valores negativos, os valores de evapotranspiração médio superam a média de precipitação daquele mês. Este cálculo é muito importante para a verificação dos negativos acumulados.

4.3.3 Negativo acumulado (NEG_ACUM)

Nesta coluna iremos realizar o somatório dos valores negativos resultantes dos cálculos da coluna de P-ETO, e sempre que os valores encontrados desta coluna forem positivos então o valor do NEG_ACUM (negativo acumulado) tenderá a zero.

No primeiro mês em que a precipitação for menor que a evapotranspiração de referência, ou seja, sempre que P-ET_o for negativo, então na coluna de negativo acumulado NEG_ACUM o valor deve ser igual ao da coluna de P-ET_o atual, e no mês seguinte se este valor continuar negativo, então este valor deve ser resultado da soma do negativo acumulado NEG_ACUM anterior com o P-ET_o atual. E este cálculo deve se repetir enquanto os valores da coluna P-ET_o forem negativos, se estes valores voltarem a serem negativos o cálculo do negativo acumulado será diferente, fazendo com que ele tenda a zero.

Quando o valor da coluna P-ET_o volta a ser positivo depois de uma sequência negativa utilizamos o valor da coluna seguinte que é o Armazenamento de água (ARM), que não deve ser superior ao valor de CAD. Então o cálculo do negativo acumulado (NEG_ACUM) será realizado pela equação 5.

$$NEG_ACUM = CAD * Ln\left(\frac{ARM}{CAD}\right) \quad (5)$$

4.3.4 Armazenamento de água (ARM)

Os valores determinados nesta coluna devem ser calculados em conjunto com os da coluna anterior de negativo acumulado (NEG_ACUM). Para cada valor igual a zero na coluna de negativo acumulado (NEG_ACUM), determina-se o valor máximo de armazenamento (ARM), conforme determinado previamente pela Capacidade de armazenamento de água no solo (CAD).

Quando os valores do Negativo Acumulado (NEG_ACUM) passam a serem negativos utilizamos a equação 6 a seguir para determinar o valor de armazenamento de água (ARM):

$$ARM = CAD * e^{\left(\frac{NEG_ACUM}{CAD}\right)} \quad (6)$$

Quando os valores de P-ETO forem positivos mesmo que o negativo acumulado (NEG_ACUM) não seja igual a zero devemos somar o valor atual da coluna P-ETO com o valor de armazenamento de água do mês anterior (ARM). Se esta soma for maior que a CAD determinado, devemos manter o valor da CAD, caso seja menor, o valor permanece o determinado pela soma.

4.3.5 Alterações no armazenamento (ALT)

Este cálculo consiste em determinar as alterações no armazenamento mês a mês. Utilizamos o valor do armazenamento (ARM) do mês atual menos o valor do armazenamento (ARM) do mês anterior, de acordo com a equação 7.

$$ALT = ARM_{atual} - ARM_{anterior} \quad (7)$$

4.3.6 Evapotranspiração real (ETr)

Definimos a evapotranspiração real como a que realmente acontece de acordo com a disponibilidade de água no solo e da variabilidade do ciclo do vegetal. Esta deve ser sempre igual ou menor que a evapotranspiração de referência (ETo). Por ocorrer em função da disponibilidade de água no solo, seguem as seguintes condições para seu cálculo nas equações 8 e 9:

$$SE \ P - ETO > 0 \rightarrow ETr = ETO \quad (8)$$

$$SE \ P - ETO < 0 \rightarrow ETr = P + |ALT| \quad (9)$$

4.3.7 Deficiência hídrica (DEF)

É caracterizado pela falta de água no solo, ou seja, quando a saída de água em uma determinada área é maior do que a quantidade que fica retida. Podemos observar as seguintes condições para realizar o seu cálculo por meio das equações 10 e 11:

$$SE \ P - ETO > 0 \rightarrow DEF = 0 \quad (10)$$

$$SE \ P - ETO < 0 \rightarrow DEF = ETO - ETR \quad (11)$$

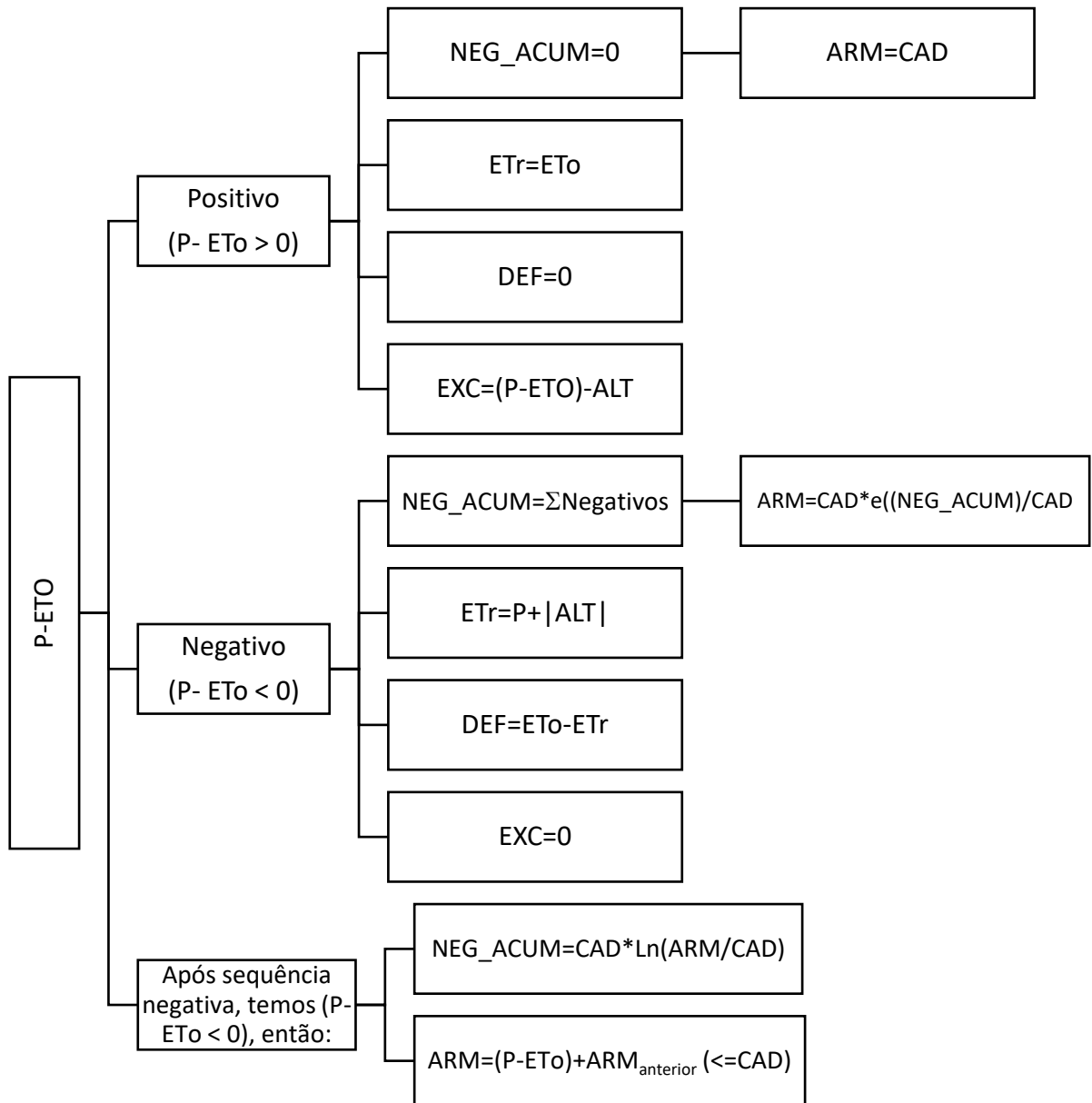
4.3.8 Excedente hídrico (EXC)

Caracteriza a água em excesso no solo, ou seja, é a quantidade de água em uma determinada área que não é aproveitado pela vegetação, pois o solo já está úmido o suficiente. Podemos observar as seguintes condições para realizar o seu cálculo nas equações 12 e 13:

$$SE P - ETO > 0 \rightarrow EXC = (P - ETO) - ALT \quad (12)$$

$$SE P - ETO < 0 \rightarrow EXC = 0 \quad (13)$$

De maneira a resumir e esclarecer o passo a passo dos cálculos realizados elaborou-se o organograma a seguir:



Fonte – Autora (2021)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para analisar o programa utilizamos comparações entre os resultados do cálculo manual em planilha do Excel a estimativa realizada pelo programa. Para isso utilizamos os dados da Evapotranspiração de referência (ET_o) determinados pelo método de Penman-Monteith.

5.1 Cálculo

Na tabela 01, apresentamos os dados de Evapotranspiração de Referência (ET_o) da estação meteorológica Jerônimo Rosado da UFERSA em Mossoró e de Precipitação da base de dados da EMPARN.

Tabela 01 – Dados de Evapotranspiração de referência e Precipitação

MÊS	ET_o (mm)	P (mm)
JAN	190,32	63,86
FEV	161,68	101,63
MAR	150,38	192,20
ABR	136,34	180,06
MAI	143,56	105,52
JUN	139,05	53,42
JUL	162,36	40,53
AGO	202,22	8,02
SET	216,48	4,34
OUT	230,91	1,49
NOV	212,81	2,72
DEZ	195,87	17,56
TOTAL	2142,00	771,00

Fonte – Adaptado de SANTOS (2010)

Para os dados acima, realizamos os cálculos de forma manual, observados na Tabela 02, conforme as equações apresentadas neste trabalho no tópico de materiais e métodos para realização da estimativa do Balanço Hídrico Climatológico.

Tabela 02 – Resultados obtidos pela realização do cálculo manual

	P-ET_o	NEG_ACUM	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
JAN	-126,46	-1411,73	0,00	0,00	63,86	126,46	0,00
FEV	- 60,05	-1471,78	0,00	0,00	101,63	60,05	0,00

MAR	41,82	-87,18	41,82	41,82	150,38	0,00	0,00
ABR	43,72	-15,62	85,54	43,72	136,34	0,00	0,00
MAI	-38,04	-53,65	58,47	-27,07	132,59	10,97	0,00
JUN	-85,63	-139,28	24,83	-33,64	87,06	51,99	0,00
JUL	-121,83	-261,11	7,34	-17,49	58,02	104,34	0,00
AGO	-194,20	-455,31	1,05	-6,28	14,30	187,92	0,00
SET	-212,14	-667,45	0,12	-0,99	5,33	211,15	0,00
OUT	-229,42	-896,87	0,00	0,00	1,49	229,42	0,00
NOV	-210,09	-1106,96	0,00	0,00	2,72	210,09	0,00
DEZ	-178,31	-1285,27	0,00	0,00	17,56	178,31	0,00
TOTAL	-1370,53	-7852,21	219,17	0,00	771,28	1370,70	0,00

Fonte – Autora (2021)

A tabela 03, apresenta os resultados da estimativa de Balanço Hídrico Climatológico realizado pelo programa. No Apêndice B temos o passo a passo de como inserir os dados e obter os resultados.

Tabela 03 – Resultados obtidos pela realização do cálculo por meio do software

	P-ETO	NEG_ACUM	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
JAN	-126	-1412	0	0	64	126	0
FEV	-60	-1472	0	0	102	60	0
MAR	42	-87	42	42	150	0	0
ABR	44	-16	86	44	136	0	0
MAI	-38	-54	58	-27	133	11	0
JUN	-86	-139	25	-34	87	52	0
JUL	-122	-261	7	-17	58	104	0
AGO	-194	-455	1	-6	14	188	0
SET	-212	-667	0	-1	5	211	0
OUT	-229	-897	0	0	2	229	0
NOV	-210	-1107	0	0	3	210	0
DEZ	-178	-1285	0	0	18	178	0
TOTAL	-1371	-7852	219	0	771	1371	0

Fonte – Autora (2021)

Os resultados obtidos para os cálculos manuais e por meio do software apresentam diferença apenas nas casas decimais, pois no software optamos por não utilizar as casas

decimais nos resultados, dessa forma, o gráfico gerado por Precipitação (P), Evapotranspiração Real (ET_r) e Evapotranspiração de referência (ET_o) teria a mesma configuração.

Existe uma forma de conferir os resultados obtidos que são as aferições, que para os dois apresentaram o mesmo resultado como mostra a Tabela 04. Estas aferições são importantes para comparar os resultados e verificar a exatidão dos cálculos realizados.

Tabela 04 – Aferições

AFERIÇÕES	Planilha do Excel	Software
1	771,32	771
2	0,00	0
3	2141,97	2141
4	771,32	771

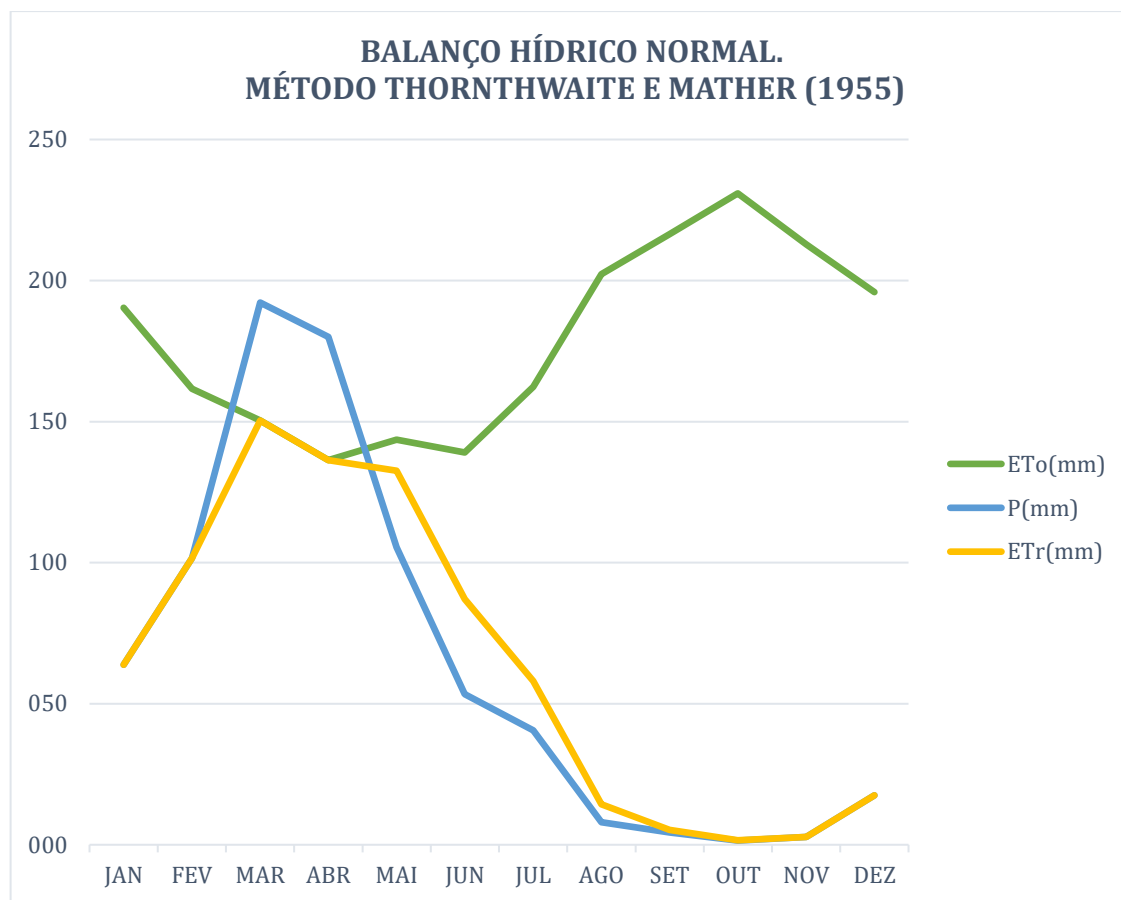
Fonte – Autora (2021)

Pode-se verificar que estão de acordo com o esperado, isto significa, que os resultados estimados pelo software e de forma manual estão corretos.

5.2 Gráfico

Ao inserir os dados já citados neste trabalho, foi possível gerar o gráfico apresentado na figura 09 abaixo. Este gráfico apresenta-se igual para a planilha executada de forma manual e o cálculo realizado pelo Software.

Figura 09 – Gráfico do Balanço Hídrico Climatológico de Mossoró de uma série de 38 anos

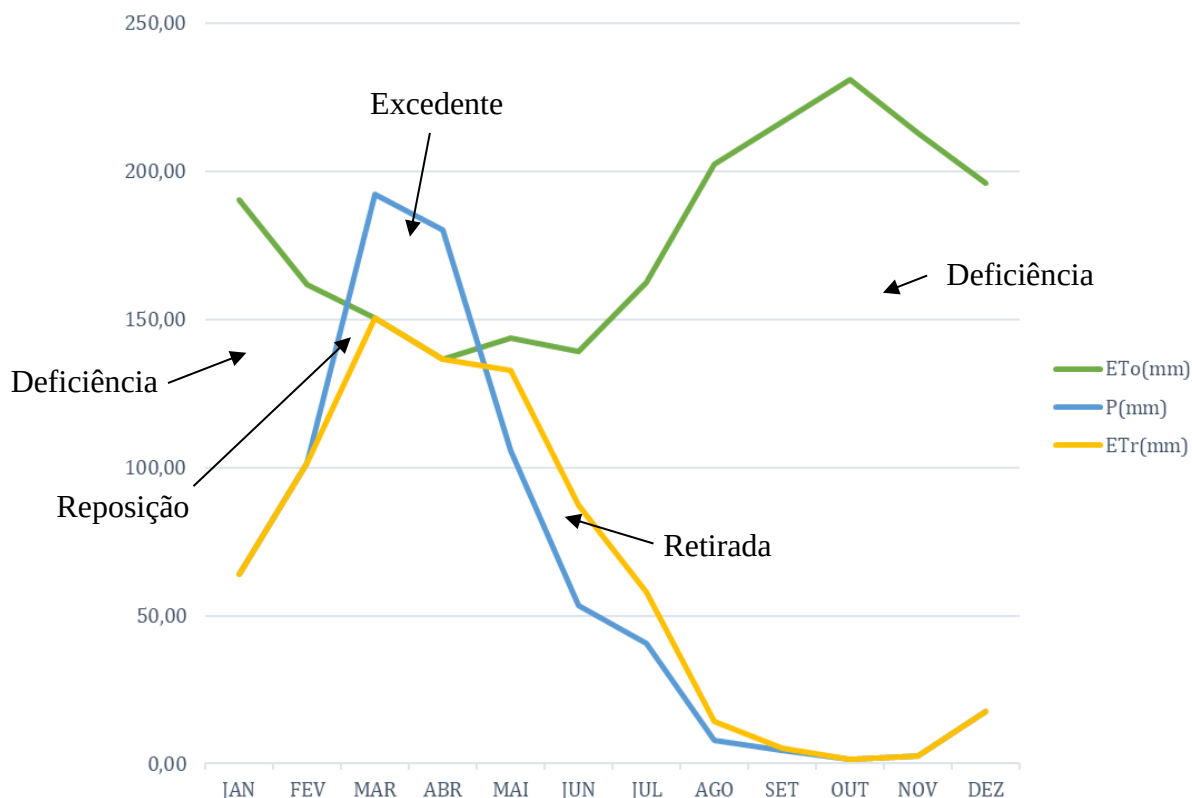


Fonte – Autora (2021)

Observa-se que o valor de Evapotranspiração de Referência (ETo) é maior a partir do segundo semestre e tende a cair no primeiro semestre. Com relação as precipitações, observamos as maiores ocorrências entre fevereiro e maio, pois o outono caracteriza-se por ser mais chuvoso e o inverno e a primavera, menos chuvosos. Em Mossoró o clima é tropical-equatorial, apresentando de sete a oito meses de seca, classificado também como semiárido. (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Na interpretação deste gráfico do Balanço Hídrico Climatológico existem áreas que fornecem informações importantes como as áreas de Deficiência hídrica, a área de Excedente hídrico, Reposição e Retirada, nas quais podemos observar que estão apontadas na Figura 10.

Figura 10 – Balanço Hídrico Climatológico de Mossoró de uma série de 38 anos



Fonte – Autora (2021)

As áreas compreendidas entre Evapotranspiração de Referência (ETo) e Evapotranspiração Real (ETr) do lado esquerdo e do lado direito, são as de Deficiência hídrica em que as precipitações exibem valores inferiores aos da evapotranspiração.

A área indicada entre Precipitação (P) e Evapotranspiração Real (ETr) do lado direito é de Reposição, em que as precipitações estão aumentando o volume de água no solo e estão maiores que os valores de Evapotranspiração Real (ETr), significa dizer que o volume de água acumulado pelas precipitações está repondo a água do solo, em uma velocidade maior que a evaporação.

A área que está compreendida entre Precipitação (P) e Evapotranspiração de Referência (ETo) é o excedente, porém se observar o gráfico e comparar com os resultados dos cálculos, a coluna de excedente hídrico está com valores zero, pois esta só apresenta valor de excesso, ou seja, caso o armazenamento exceda os 100mm definidos pela Capacidade de Água Disponível (CAD), e pelo próprio gráfico podemos notar que o valor de Precipitação (P) que excede acima da Evapotranspiração de Referência (ETo) não alcança valores acima dos 100mm predefinidos pela Capacidade de Água Disponível (CAD).

Por fim, temos a área de retirada, que se encontra entre Precipitação (P) e Evapotranspiração Real (ET_r), onde os valores de Precipitação (P) estão menores que os valores de Evapotranspiração Real (ET_r), isto é, as precipitações não conseguem manter o nível da água no solo, que está evaporando em maior velocidade, por tanto, esta água está sendo retirada.

Com este gráfico gerado por meio do executável é possível vislumbrar diversas aplicações na engenharia civil, a qual época do ano o balanço hídrico apresenta deficiência favorecendo por exemplo a execução de fundações profundas moldadas in loco, ou para construção de estradas em períodos que não tenham excedentes e diversas outras aplicações. Só devemos nos atentar para utilizar os dados de Evapotranspiração de referência e precipitação de cada município.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta neste trabalho foi apresentar uma ferramenta de fácil utilização escrito em linguagem Visual Basic for Applications (VBA) integrada ao Microsoft Excel, que fosse capaz de realizar a estimativa do Balanço Hídrico Climatológico pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), e ao final resultar como produto uma planilha com os cálculos e o gráfico para a interpretação dos resultados.

Diante do que foi exposto, podemos observar que foi possível elaborar uma ferramenta para realizar o cálculo do Balanço Hídrico Climatológico pelo programa e de forma manual em uma planilha no Excel, percebe-se que não houve alteração significativa, apenas nas casas decimais, dado que no software optamos por utilizar não utilizar casas decimais, as alterações são mínimas que não interferem no resultado final.

O software apresenta um layout de fácil compreensão e intuitivo com relação ao preenchimento dos dados e inclusive, apresenta informações sobre as unidades os quais devem ser inseridos os dados, ou seja, é um programa autoexplicativo.

O produto deste trabalho apresenta uma grande vantagem que é a otimização do tempo e a certeza de dados exatos, pois além de realizar todas as estimativas referentes ao Balanço Hídrico Climatológico, o programa apresenta as aferições para que possa ser conferido os resultados apresentados, o que nos dá a certeza de que o cálculo está correto, e caso não esteja, isto também será verificado e exposto nas aferições.

Por tanto, disponibilizou-se um instrumento confiável, de fácil manipulação e acessível que pode ser utilizado por qualquer usuário que possua o Microsoft Excel instalado em sua máquina, pois este aplicativo tem grande popularidade, disponibilidade no mercado e possui licença em preços acessíveis. Além disso pode ser utilizado para qualquer região ou cidade do mundo, desde que se utilizem os dados de Evapotranspiração e Precipitação correspondente.

Para ações futuras, pode-se trabalhar em utilização deste executável para smartphones para facilitar seu uso em campo, inclusive, transforma-lo em um aplicativo, sem que necessite da utilização do Microsoft Excel para sua execução. Além disso, podemos sugerir a criação de um banco de dados pré-carregados com os dados de algumas capitais do país.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, Michael; WALKENBACH, John. **Programando em Excel VBA: para leigos**. Rio de Janeiro: Alta books, 2021. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/>. Acesso em 02 de agosto de 2021.

CARNEVSKIS, Elizabeth Lima; LOURENÇO, Leandro Fellet. **Agrometeorologia e climatologia** [recurso eletrônico]. Porto Alegre: SAGAH, 2018. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/> acesso em 03 de agosto de 2021.

CHAMON, José Eduardo. **Excel com VBA na Prática**. São Paulo: Érica, 2019. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/> acesso em 02 de agosto de 2021.

FRAGA, Yuri Sotero Bomfim; DORTAS, Ivan Santos; MOTA, Walter Vieira; CASTRO, Cassio Kayque Costa; SANTOS, Luiz Henrique Pereira. **A influência da evapotranspiração na Engenharia Civil**. Ciências exatas e tecnológicas. Aracaju: v. 3, n. 3, p. 25-32, Outubro 2016. Acesso em periodicos.set.edu.br em 20 de novembro de 2021.

GOOGLE. **Google Earth website**. Disponível em: <http://earth.google.com/>. Consulta realizada em 11 de novembro 2021.

ITENFISU, D., R. L. ELLIOT, R. G. ALLEN, and I. A. WALTER. 2003. **Comparison of reference evapotranspiration calculations as part of the ASCE standardization effort**. J. Irrig. and Drain. Eng. 129(6): p.440-448

MACHADO, Vanessa de Souza. **Princípios de climatologia e hidrologia** [recurso eletrônico]. Porto Alegre: SAGAH, 2017. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/> acesso em 01 de agosto de 2021.

MATOS, Rigoberto Moreira de; SILVA, Patrícia Ferreira da; MEDEIROS, Raimundo Mainar de; Bárbara SANTOS, Davis Brito dos; BARROS, Antônio Soares; NETO, José Dantas; SABOYA, Luciano Marcelo Fallé. **Balanço hídrico climatológico normal e sequencial para o município de Barbalha – CE**. Revista Brasileira de Geografia Física v.13, n.3 (2020) 973-982.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA Inês Moresco. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**, São Paulo, Oficina de textos, 2007.

OLIVEIRA, José Ângeles Moreira de; OLIVEIRA, Carlos Magno Moreira de. 2019. **Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Arinos-MG**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada [online] 12. Disponível em: <https://doi.org/10.7127/rbai.v12n600901>. Acesso em 03 de outubro de 2021.

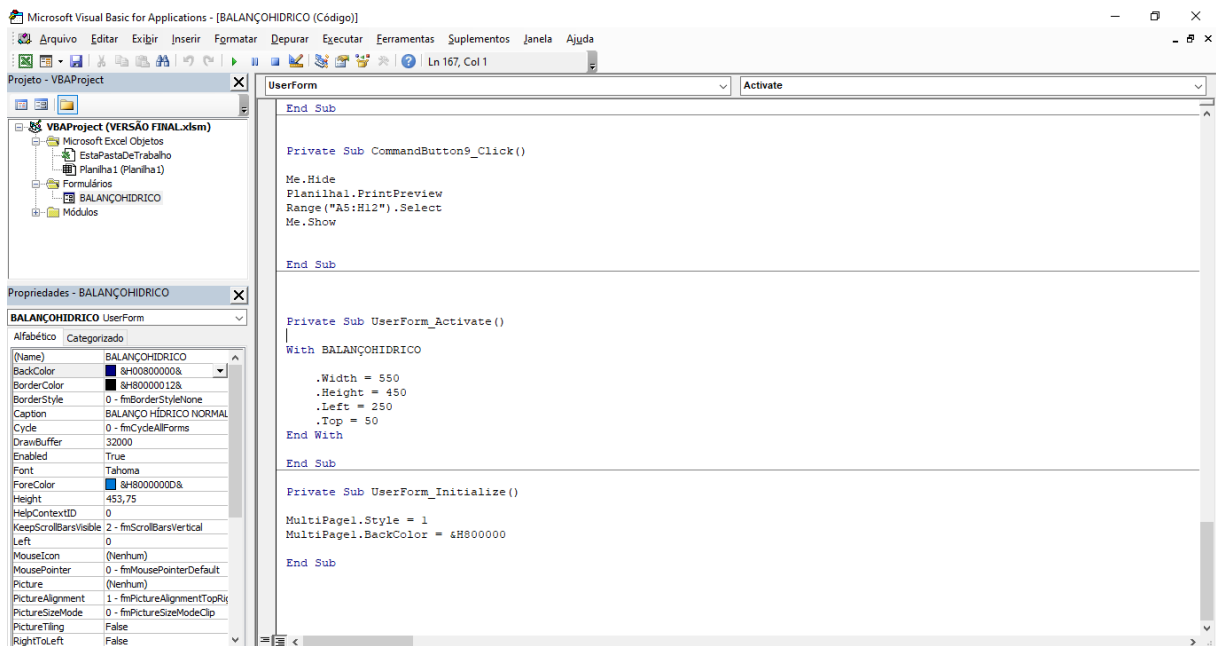
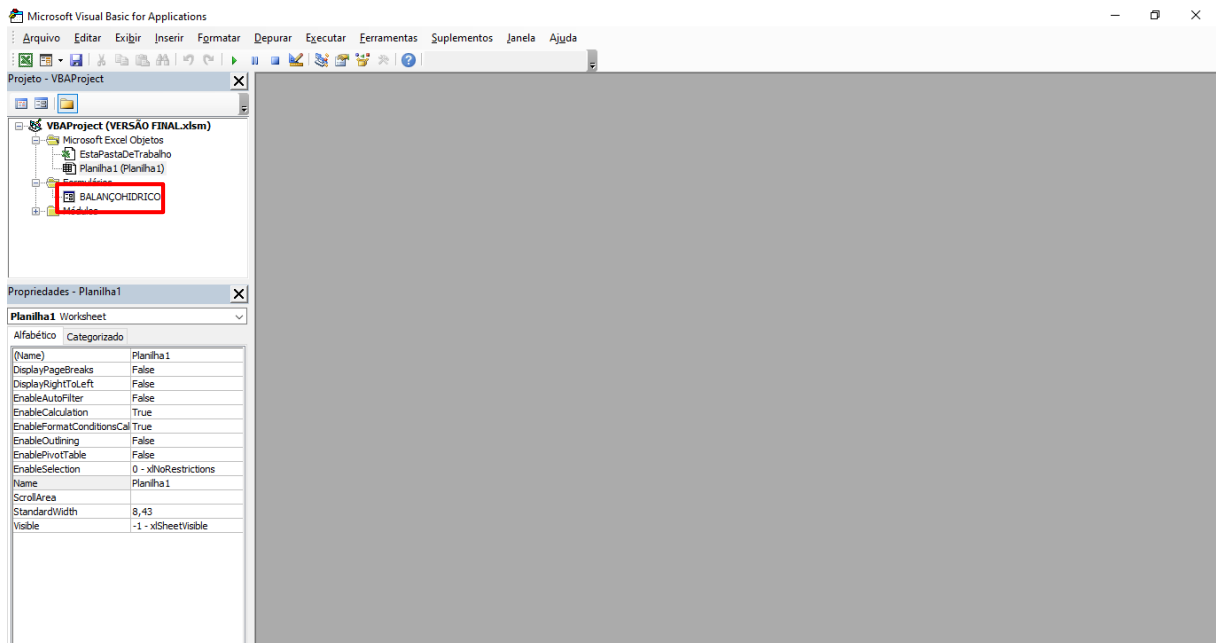
PEREIRA, Antonio Roberto; ANGELOCCI, Luis Roberto; SENTELHAS, Paulo Cesar. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: ESALQ, 183p. 1997.

_____. **Meteorologia agrícola**. Piracicaba: USP, 2007. (LCE 306). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/285651687_Agrometeorologia_Fundamentos_e_aplicacoes_praticas. Acesso em: 10 de outubro de 2021

SANTOS, Wesley de Oliveira. **Ajuste da evapotranspiração de referência em Mossoró-RN estimada através de 10 métodos à diferentes distribuições densidade de probabilidade.** Mossoró, 2010

SOUZA, Jorge Luis Moretti; JERSZURKI, Daniela; SCHAFER, Rossana; GURSKI, Bruno Cesar; SCHAFER, Herbert. **Balanço Hídrico Climatológico: Precipitação e Evapotranspiração de Referência Estimadas com Metodologia Alternativa.** Revista Brasileira de Climatologia. Ano 13 – Vol. 20 – JAN/JUL 2017.

APÊNDICE A – Criação do ambiente



APÊNDICE B – Passo a passo de uso do Software

BALANÇO HÍDRICO NORMAL

DADOS GRÁFICO RESULTADOS

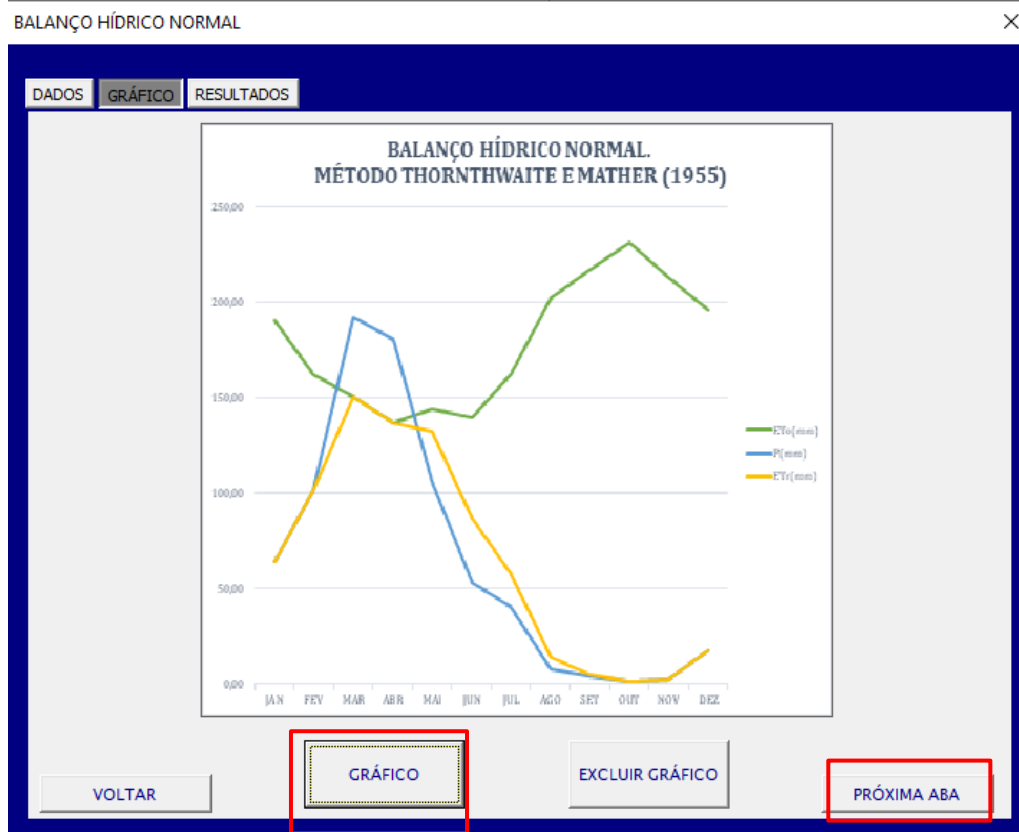
Precipitação (P)[mm]:	Evapotranspiração de Referência (ET _o)[mm]:	Capacidade de armazenamento de água no solo (CAD) [mm]
JAN: 63.86	JAN: 190.32	100
FEV: 101.63	FEV: 161.68	
MAR: 192.20	MAR: 150.38	
ABR: 180.06	ABR: 136.34	
MAI: 105.52	MAI: 143.56	
JUN: 53.42	JUN: 139.05	
JUL: 40.53	JUL: 162.36	
AGO: 8.02	AGO: 202.22	
SET: 4.34	SET: 216.48	
OUT: 1.49	OUT: 230.91	
NOV: 2.72	NOV: 212.81	
DEZ: 17.56	DEZ: 195.87	

LOCAL: MOSSORÓ

PERÍODO [anos]: 37

INSERIR DADOS LIMPAR DADOS EXIBIR PLANILHA

PRÓXIMA ABA



BALANÇO HÍDRICO NORMAL



DADOS GRÁFICO RESULTADOS

MÊS	ET _o	P	P-ETO	NEG_ACUM	ARM (mm)	ALT (mm)
JAN	190,32	63,86	-126	-1412	0	0
FEV	161,68	101,63	-60	-1472	0	0
MAR	150,38	192,20	42	-87	42	42
ABR	136,34	180,06	44	-16	86	44
MAI	143,56	105,52	-38	-54	58	-27
JUN	139,05	53,42	-86	-139	25	-34
JUL	162,36	40,53	-122	-261	7	-17
AGO	202,22	8,02	-194	-455	1	-6
SET	216,48	4,34	-212	-667	0	-1
OUT	230,91	1,49	-229	-897	0	0
NOV	212,81	2,72	-210	-1107	0	0
DEZ	195,87	17,56	-178	-1285	0	0
TOTAL	2141,98	771,35	-1371	-7852	219	0

AFERIÇÕES

1	771,35	771,35
2	0,00	
3	2141,98	2141,98
4	771,35	771,35

IMPRIMIR CÁLCULO

EXIBIR PLANILHA

VOLTAR

BALANÇO HÍDRICO NORMAL



DADOS GRÁFICO RESULTADOS

NEG_ACUM	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF(mm)	EXC (mm)
-1412	0	0	64	126	0
-1472	0	0	102	60	0
-87	42	42	150	0	0
-16	86	44	136	0	0
-54	58	-27	133	11	0
-139	25	-34	87	52	0
-261	7	-17	58	104	0
-455	1	-6	14	188	0
-667	0	-1	5	211	0
-897	0	0	2	229	0
-1107	0	0	3	210	0
-1285	0	0	18	178	0
-7852	219	0	771	1371	0

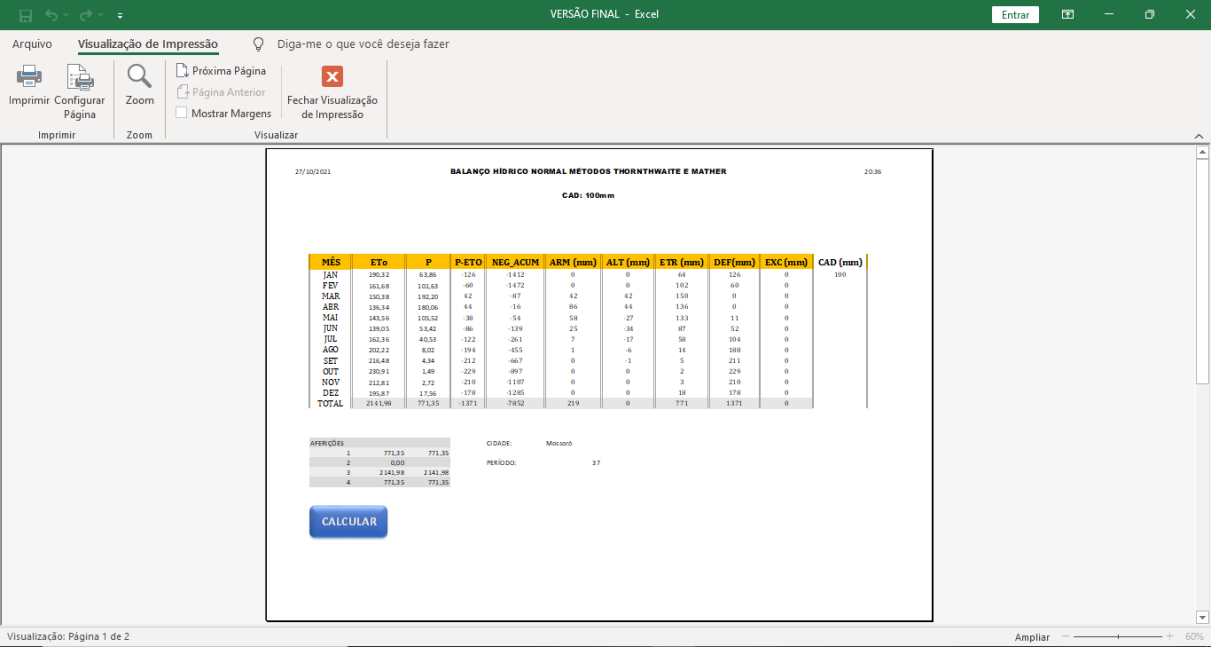
AFERIÇÕES

1	771,35	771,35
2	0,00	
3	2141,98	2141,98
4	771,35	771,35

IMPRIMIR CÁLCULO

EXIBIR PLANILHA

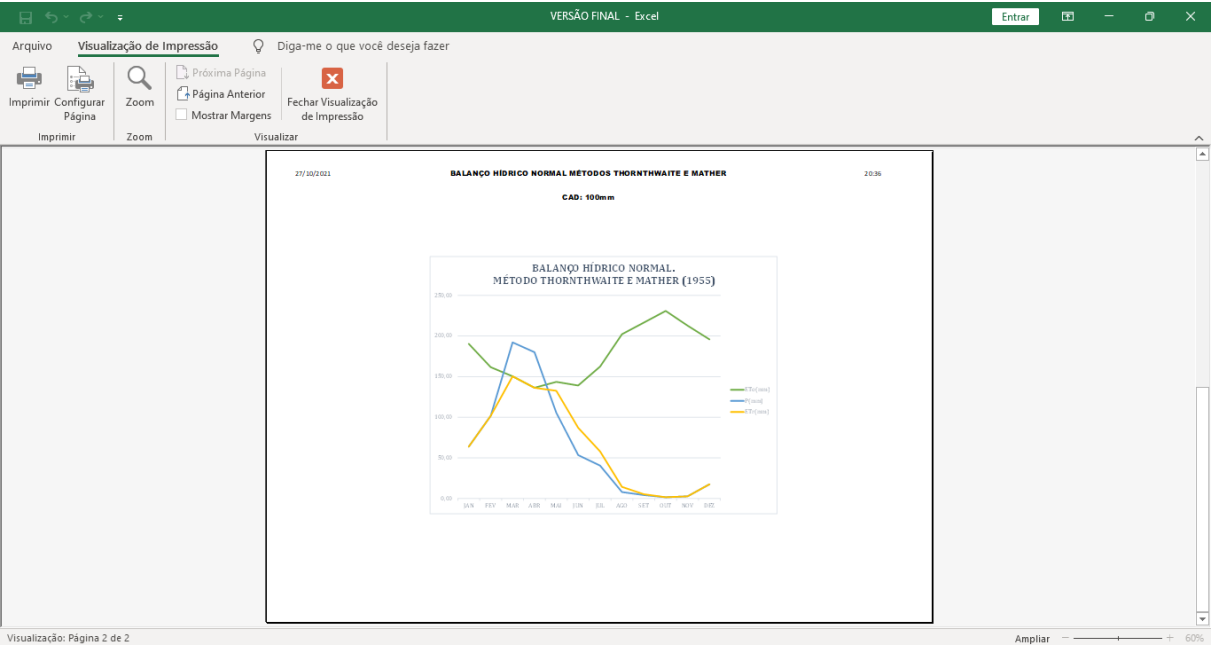
VOLTAR



Visualização: Página 1 de 2

Ampliar

60%



Visualização: Página 2 de 2

Ampliar

60%