

FACULDADE VALE DO CRICARÉ
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GESTÃO SOCIAL,
EDUCAÇÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL

GILMARA DAS NEVES SILVA

MÉTODO PARA ESTIMATIVA DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO
COM SUPORTE DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL: UM ESTUDO DE
CASO

SÃO MATEUS-ES
2017

GILMARA DAS NEVES SILVA

MÉTODO PARA ESTIMATIVA DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO
COM SUPORTE DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL: UM ESTUDO DE
CASO

Dissertação apresentada à Faculdade Vale do Cricaré para obtenção do título de Mestre Profissional em Gestão Social, Educação e Desenvolvimento Regional. **Área de concentração:** Educação e o Desenvolvimento regional.

Orientador: Prof. Dr. José Geraldo Ferreira da Silva.

Co-orientador: Prof. Dr. Wanderson Muniz de Santana.

SÃO MATEUS – ES

2017

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na publicação

Mestrado Profissional em Gestão Social, Educação e Desenvolvimento Regional

Faculdade Vale do Cricaré – São Mateus - ES

S586m

Silva, Gilmara das Neves.

Método para uma estimativa do balanço hídrico climatológico com suporte de ferramenta computacional: um estudo de caso / Gilmara das Neves Silva – São Mateus - ES, 2017.

92 f.: il.

Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão Social, Educação e Desenvolvimento Regional) – Faculdade Vale do Cricaré, São Mateus - ES, 2017.

Orientação: Prof. Dr. José Geraldo Ferreira da Silva; Prof. Dr. Wanderson Muniz de Santana.

1. Balanço hídrico climatológico. 2. Agricultura e sustentabilidade. 3. Ferramenta computacional. I. Título.

CDD: 555.6


GILMARA DAS NEVES SILVA

**MÉTODO PARA ESTIMATIVA DO BALANÇO HÍDRICO
CLIMATOLÓGICO COM SUORTE DE FERRAMENTA
COMPUTACIONAL: UM ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Social, Educação e Desenvolvimento Regional da Faculdade Vale do Cricaré (FVC), como requisito parcial para obtenção do título de Mestra em Gestão Social, Educação e Desenvolvimento Regional, na área de concentração Gestão Social, Educação e Desenvolvimento Regional.

Aprovada em 31 de março de 2017.


COMISSÃO EXAMINADORA




Prof. Dr. José Geraldo Ferreira da Silva
Faculdade Vale do Cricaré (FVC)
Orientador



Prof. Dr. Marcus Antonius da Costa Nunes
Faculdade Vale do Cricaré (FVC)



Prof. Dr. Wanderson Muniz Santana
Rede de Ensino Doctum



Prof. Dr. Roney Pignaton da Silva
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

DEDICATÓRIA

Homenagem póstuma ao homem que mais amei nesse mundo e que mais me amou também, meu pai, Gilberto Silva. Esta presente dissertação representa a concretização de um sonho que não era somente meu, era nosso. Te amarei eternamente.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, meu senhor, por tudo que faz por mim todos os dias de minha vida. Agradeço em segundo lugar aos meus pais, Dagna e Gilberto Silva, por sempre grandes exemplos em minha vida e terem se esforçado para me mostrar o valor e importância que os estudos tem na vida de uma pessoa.

Agradeço imensamente ao meu professor orientador Dr. José Geraldo Ferreira da Silva e meu co-orientador Dr. Wanderson Muniz de Santana que dedicaram de seu tempo para me orientar mesmo em meio a uma agenda apertada, sempre com total prontidão e dedicação. Sem eles este trabalho não seria possível.

Agradeço também a Faculdade Vale do Cricaré, por ter concedido o espaço físico e suporte em todos os momentos, que foram fundamentais ao longo do projeto.

Um agradecimento especial ao meu namorado Gerley Gomes Gil, por ser meu companheiro fiel em todos os momentos de minha vida. Agradeço também à minha irmã Gilvana Neves, e aos meus queridos amigos por todo incentivo para que eu chegasse até este momento, compreensão nos momentos em que fui ausente em função deste trabalho e motivação para que eu tivesse as forças necessárias para dar o meu melhor.

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu,
mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre
aquilo que todo mundo vê. ”.*

(Arthur Schopenhauer)

RESUMO

SILVA, Gilmara das Neves. **Método para estimativa do balanço hídrico climatológico com suporte de ferramenta computacional: Um estudo de caso.** 2017. Número total de folhas: 90. Dissertação apresentada à Faculdade Vale do Cricaré para obtenção do título de Mestre em Gestão Social, Educação e Desenvolvimento Regional, 2017.

O Brasil sempre foi conhecido como uma das maiores potências hídricas do planeta. Porém, o mesmo encontra-se no que pode ser considerado como a maior crise hídrica de toda a sua história. Com o aumento da população, a água, elemento essencial para a manutenção da vida humana, tem sofrido grande demanda em diversos setores. Entre eles, está o da produção de alimentos através da agricultura. A extensa demanda hídrica necessária à irrigação afeta diretamente a disponibilidade deste recurso. Além disto, há inúmeros problemas relacionados à aplicação de tecnologias em grande escala que dão suporte à necessidade hídrica das demandas agrícolas. O balanço hídrico visa estabelecer a capacidade de armazenamento de água de um determinado solo, através da contabilidade de seus ganhos e perdas hídricas. O mesmo torna-se, portanto, um grande aliado na busca por economia de água em diversas aplicações, principalmente no processo de irrigação agrícola. Além disso, o estudo do balanço hídrico pode ser aplicado à setores como o turismo, construção de barragens e estradas, planejamento urbano entre outros, que envolvam o manejo e manutenção dos recursos hídricos. Entretanto, contabilizá-lo através de equipamentos de alta tecnologia e mão-de-obra especializada pode ser porventura dispendioso e inacessível à uma grande parcela dos agricultores. Em meio as dificuldades encontradas, foram desenvolvidos processos indiretos, para estimar o balanço hídrico, a partir de variáveis meteorológicas. Tal método é conhecido como Balanço Hídrico Climatológico – BHC, e foi desenvolvido por Thornthwaite e Matter em 1955. As ferramentas computacionais estão presentes em todos os setores da economia, e são capazes de trazer grande eficiência e economia nos diversos processos e necessidades humanas. Esta dissertação tem como objetivo propor uma metodologia para estimativa do balanço hídrico climatológico utilizando-se suporte de ferramenta computacional. Realizar-se-á um estudo de caso na cidade de Teixeira de Freitas, no interior da Bahia, de modo a aplicar-se em um cenário específico os conhecimentos adquiridos, bem como a ferramenta computacional. Através da análise dos resultados do estudo de caso, foi possível obter uma clara perspectiva da importância da implantação de um suporte computacional para a obtenção do balanço hídrico.

Palavras-chave: balanço hídrico, balanço hídrico climatológico, agricultura e sustentabilidade, ferramenta computacional.

ABSTRACT

SILVA, Gilmara das Neves. **Method for estimation of climatological water balance with computational tool support: A case study.** 2017. Total number of sheets: 90. Dissertation presented to the Faculdade Vale do Cricaré to obtain the Master's degree in Social Management, Education and Regional Development, 2017.

Brazil has always been known as one of the greatest hydric powers on the planet. However, the same is found in what can be considered as the greatest water crisis in its entire history. With increasing population, water, an essential element for the maintenance of human life, has been in great demand in several sectors. Among them is the production of food through agriculture. The extensive water demand required for irrigation directly affects the availability of this resource. In addition, there are numerous problems related to the application of large-scale technologies that support the water requirement of agricultural demands. The water balance aims to establish the water storage capacity of a given soil, through the accounting of its water gains and losses. It is therefore a great ally in the search for water savings in several applications, especially in the agricultural irrigation process. In addition, the study of the water balance can be applied to sectors such as tourism, dam and road construction, urban planning, among others, that involve the management and maintenance of water resources. However, accounting for it through high technology equipment and skilled labor may be expensive and inaccessible to a large portion of farmers. Among the difficulties encountered, indirect processes were developed to estimate the water balance, based on meteorological variables. Such a method is known as Climatological Water Balance - BHC, and was developed by Thornthwaite and Matter in 1955. Computational tools are present in all sectors of the economy, and are capable of bringing great efficiency and economy in the various human processes and needs. This dissertation aims to propose a methodology for estimating the climatological water balance using computational tool support. A case study will be carried out in the city of Teixeira de Freitas, in the interior of Bahia, in order to apply the acquired knowledge as well as the computational tool in a specific scenario. Through the analysis of the results of the case study, it was possible to obtain a clear perspective of the importance of the implementation of a computational support to obtain the water balance.

Key-words: water balance, climatic water balance, agriculture and sustainability, computational tool.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1. Representação esquemática da relação entre os elementos do balanço hídrico no solo. Representação esquemática da relação entre os elementos do balanço hídrico no solo.....	22
Figura 2.2. Ilustração esquemática dos elementos de entrada e saída de água do BH.	23
Figura 2.3. Etapas do desenvolvimento de software	49
Figura 2.4. Representação de alguns diagramas UML.....	55
Figura 3.1. Fluxograma de metodologia do desenvolvimento.....	54
Figura 3.2. Diagrama de fluxo de dados sistema BHC.....	67
Figura 3.3. Arquitetura de processamento de dados do sistema BHC.....	68
Figura 4.1. Balanço Hídrico Mensal – Precipitação versus evapotranspiração potencial versus evapotranspiração real. Média histórica para um período de 30 anos – 1986-2016. CAD = 100 mm = ARM máximo.	74
Figura 4.2. Balanço Hídrico Mensal – Deficiência versus excedente hídrico. Média histórica para um período de 30 anos – 1986-2016. CAD = 100 mm = ARM máximo.....	76
Figura 4.3. Balanço Hídrico Diário – Precipitação versus evapotranspiração potencial versus evapotranspiração real. Dados referentes aos 10 primeiros dias do mês de julho de 2016. CAD = 100 mm = ARM máximo.....	77
Figura 4.4. Balanço Hídrico Diário – Deficiência versus excedente hídrico. Dados referentes aos 10 primeiros dias do mês de julho de 2016. CAD = 100 mm = ARM máximo.	78
Figura 4.5. Sistema BHC - Parte 1.....	79
Figura 4.8. Sistema BHC - Parte 2.....	79
Figura 4.9. Sistema BHC - Parte 3.....	79
Figura 4.10. Sistema BHC - Parte 4.....	80
Figura 4.11. P Sistema BHC - Parte 5.....	80

Figura 4.12. Sistema BHC - Parte 6.....	80
Figura 4.13. Sistema BHC - Parte 7.....	81

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1. Indicação dos fatores de correção de evapotranspiração em função da latitude (dados para o Brasil).....	42
Tabela 2.2. Radiação solar global extraterrestre (Q_0 , expressa em mm de evaporação equivalente por dia), no 15º dia do mês correspondente, para o hemisfério sul	45
Tabela 2.3. Custo médio para reparar cada erro no software em suas diferentes etapas (valor a ser acrescido ao valor inicial do software).	50
Tabela 3.1. Variáveis meteorológicas de temperatura mínima e máxima do ar e precipitação para Teixeira de Freitas, mensal. Média histórica para um período de 30 anos – 1986-2016.	57
Tabela 3.2. Variáveis meteorológicas de temperatura mínima e máxima do ar e precipitação para Teixeira de Freitas, diário para o mês de julho, 2016.	58
Tabela 3.3. Requisitos gerais do sistema.....	65
Tabela 3.4. Requisitos de hardware do sistema.....	66
Tabela 3.5 Requisitos de software do sistema.....	66
Tabela 4.1. Balanço hídrico mensal para Teixeira de Freitas, segundo formulação de Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica para um período de 30 anos: 1986 - 2016. CAD = 100 mm = ARM máximo.....	72
Tabela 4.2 Balanço hídrico diário para Teixeira de Freitas, segundo formulação de Thornthwaite e Mather (1955), considerando os 10 primeiros dias do mês de julho de 2016. CAD = 100 mm = ARM máximo.	73
Tabela 4.3. Balanço Hídrico diário para Teixeira de Freitas, segundo formulação de Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica para um período de 30 anos – 1986-2016. CAD = 100 mm = ARM máximo.....	74
Tabela 4.2 Balanço Hídrico diário para Teixeira de Freitas, segundo formulação de Thornthwaite e Mather (1955), considerando os 10 primeiros dias do mês de julho de 2016. CAD = 100 mm = ARM máximo.	76

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ARM	Armazenamento hídrico
BH	Balanço hídrico
BHC	Balanço hídrico climatológico
BHR	Balanço hídrico Real
ET	Evapotranspiração
ETP	Evapotranspiração potencial
ER	Evapotranspiração Real
I	Índice térmico
le	Infiltração eficaz
Im	Índice térmico mensal
IR	Irrigação
K	Fator de correção
POO	Programação Orientada a Objetos
P	Precipitação
T	Temperatura média
UML	Linguagem de Modelagem Unificada
C°	Graus célsius, unidade de medida de temperatura.
mm	Milímetros, unidade de medida.

SUMÁRIO

	<u>Pag.</u>
1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. Justificativa.....	16
1.2. Objetivos.....	19
2. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. Desenvolvimento Sustentável.....	20
2.2. Agricultura e Sustentabilidade.....	21
2.3. Balanço Hídrico.....	23
2.3.1. Componentes do balanço hídrico.....	23
2.3.2. Aplicações do balanço hídrico.....	25
2.3.3. Métodos de determinação do balanço hídrico.....	28
2.3.3.1. Balanço Hídrico Real (BHR).....	28
2.3.3.2. Balanço Hídrico Climatológico (BHC).....	29
2.3.4. Variáveis do balanço hídrico climatológico.....	34
2.3.5. Formulação de Thornthwaite e Matter (1955).....	43
2.4. Processo de Desenvolvimento de Software.....	49
2.4.1. Etapas do desenvolvimento.....	50
3. METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO.....	56
3.1. Local.....	56
3.2. Público.....	56
3.3. Etapas do projeto.....	57
3.4. Visão geral da pesquisa.....	57
3.4.1. Obtenção dos dados meteorológicos.....	58
3.5. Sistema computacional para automatização do balanço hídrico.....	65
3.5.1. Concepção do sistema.....	65
3.5.2. Levantamento de requisitos.....	66
3.5.3. Análise de requisitos.....	68
3.5.4. Projeto.....	69
3.5.5. Implementação.....	70
3.5.6. Testes.....	72
RESULTADOS E DISCURSÃO.....	73

4.1. Análise dos resultados.....	75
4.1.1. Balanço Hídrico Mensal.....	76
4.1.2. Balanço Hídrico Diário.....	77
4.1.3. Balanço Hídrico Diário.....	80
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84
REFERÊNCIAS	87
APÊNDICE A - Diagrama de Fluxo de Dados.....	92

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, expressões como seca, escassez de água e crise hídrica, foram algumas das mais ouvidas e pronunciadas em noticiários por todo o país. Tendo em vista todas as dificuldades enfrentadas no Brasil e no mundo em decorrência dos problemas relacionados à falta de água, torna-se intuito principal desta dissertação, o desenvolvimento de um método computacional que seja capaz de contribuir para uma maior eficiência na utilização dos recursos hídricos, e por consequência, para a promoção do desenvolvimento sustentável.

O Brasil, que é considerado uma das maiores potências hídricas do planeta, está passando pelo que pode ser a maior crise de abastecimento de água da sua história. A água é um recurso natural extremamente valioso e essencial para a manutenção da vida humana existente na terra. Em contrapartida, sua disponibilidade é limitada (VICTORINO, 2007).

As atividades humanas demandam uma grande necessidade de utilização de água potável. Esta utilização é importante em todos os setores da sociedade. Segundo Magalhães *et al.* (2013), face à complexidade dos múltiplos usos e da falta de recursos naturais substitutos, a água tem se tornado cada vez mais escassa, dado o modelo de desenvolvimento vigente muito exigente na oferta desse insumo nos diversos setores produtivos (VICTORINO, 2007).

Assim como o ser humano precisa ingerir água para matar a sua sede e sobreviver, o mesmo também precisa de alimentar-se. Para produzir alimento, é preciso água. Quanto mais a população cresce, maior torna-se a demanda pela produção de alimentos. O aumento na demanda de água destinada à irrigação dos cultivos agrícolas, afeta a disponibilidade desse recurso, sobretudo em regiões onde há necessidade do uso da irrigação (MAGALHÃES *et al.* 2013).

Acrescenta-se ainda o fato de que há inúmeras dificuldades para a aplicação de tecnologias em grande escala para dar suporte à necessidade hídrica das atividades agropecuárias. Sob esse aspecto, de acordo com Magalhães *et al.* (2013) a Bahia é um dos estados que apresentam problemas de disponibilidade e uso dos recursos hídricos. Torna-se essencial e urgente que sejam implantadas medidas tecnológicas que visem o monitoramento do uso da água na irrigação, afim de que este recurso natural tão necessário para a produção de alimentos sejam empregado de modo racional e sustentável.

O Balanço Hídrico Climatológico, ao estabelecer todos os ganhos e perdas hídricas em determinada parcela do solo, torna-se de extrema importância na busca de economia de água em diversas aplicações, principalmente no processo de irrigação. Porém, contabilizá-lo através de equipamentos de alta tecnologia e mão-de-obra especializada é muito dispendioso, tornando tais medidas inacessíveis a grande parte dos agricultores.

Em face dessas dificuldades encontradas, foram desenvolvidos processos indiretos, para estimar o balanço hídrico, a partir de variáveis meteorológicas. Diante desse contexto, surge a seguinte indagação: É possível propor um método computacional que seja capaz de otimizar o processo de obtenção do balanço hídrico, contribuindo, portanto, para uma economia de água no país?

1.1. Justificativa

Quase toda a superfície terrestre é coberta por água. De acordo com Victorino (2007), do total de 137 bilhões km³ de água do planeta, 97,2% é salgada e imprópria para o consumo. Dos 2,8% restantes, menos de 1% corresponde à água utilizável (rios, lagos, águas da chuva e subterrânea).

Segundo Victorino (2007) o aumento populacional é um grande problema a ser considerado. Só no século passado este aumento triplicou, o que ocasionou o aumento de fábricas, mais desperdício e mais irrigação nas lavouras. O crescimento da população mundial e da produção, associado ao aumento no consumo, impõe pressões cada vez mais intensas sobre o meio ambiente. Assim, torna-se necessário desenvolver estratégias para mitigar esses impactos.

(...) está prevista uma população superior a oito bilhões de pessoas para o ano de 2020: 65% em áreas litorâneas e 60% em cidades com mais de 2,5 milhões de pessoas. É verdade que a utilização da provisão de água aumentou enormemente em um curto período de tempo: enquanto a renovação não alterou o nível dos recursos hídricos, de 1900 a 1995 a quantidade utilizada aumentou para seis vezes mais (duas vezes mais o índice de aumento populacional) e duas vezes mais desde 1975. (VICTORINO, 2007, p. 15).

No Brasil, de acordo com Victorino (2007), a agricultura consome uma média mundial de 70% das provisões de água. Dos 30% restantes, 20% são consumidos pela indústria e 10% são derivados para usos domésticos e outros. A condição privilegiada no cenário hídrico brasileiro, deu margens ao desperdício por muito tempo. Hoje em dia, diversas regiões brasileiras têm sofrido os efeitos em decorrência deste desperdício, mesmo de forma indireta, como por exemplo, no racionamento do abastecimento público ou até mesmo nas contas de energia.

Dentre os principais consumidores, o setor agrícola apresenta-se como o maior utilizador dos recursos hídricos, especialmente na irrigação de culturas agrícolas, conforme esclarece Carmo *et al.* (2007). Assim, torna-se extremamente importante a adoção de medidas que visem a economia de água, dentro deste e de outros cenários da economia brasileira.

O modelo agrícola atual, baseado na intensa exploração das águas, coloca-se como um dos maiores responsáveis pela crise hídrica atual. Enquanto por um lado o aumento na produtividade agrícola permanece como um dos meios mais importantes para o combate à fome e a pobreza, por outro lado faz-se necessário um uso inteligente dos recursos naturais utilizados, especialmente a água (CARMO *et al.* 2007).

O Balanço Hídrico (BH) é o estudo que contabiliza a porção hídrica que um determinado solo é capaz de armazenar. Conhecê-lo, é de extrema relevância, pois, ao fornecer a contabilização de água do solo, é possível haver planejamento e remanejamento hídrico da massa em um volume de solo vegetado (ZEPKA, 2002).

O BH tem se mostrado muito eficiente dentro do contexto agroindustrial, uma vez que através dele, podem-se tomar decisões no sentido de elaborar planejamentos anuais de plantação, fornece a caracterização e variação sazonal das condições do BH (deficiências e excedentes hídricos) ao longo do período em questão, além de ser um Indicador climatológico da disponibilidade hídrica da região (CARMO *et al.* 2007).

Planejar a utilização dos recursos hídricos no meio agrícola através do balanço hídrico, associado ao entendimento das necessidades da cultura, pode ser uma alternativa muito proveitosa no estabelecimento de estratégias para utilizar de forma eficiente as reservas de água do solo.

Com a aplicação do balanço hídrico em determinada área, de acordo com Zepka (2002), pode-se aumentar a eficiência do uso da água de irrigação, uma vez que dessa forma se passa a conhecer o déficit da água no solo. Assim consegue-se diminuir o custo com o processo de irrigação, uma vez que esta técnica é utilizada para suprir esta deficiência, abastecendo o solo com a água necessária às plantas quando a precipitação se faz ausente.

O balanço hídrico também pode ser aplicado em diversas outras áreas, como a classificação climática, a previsão de rendimentos e o planejamento em diversas áreas de atuação, sejam eles na agricultura, turismo, planejamento urbano, conforto térmico, construção de barragem, estradas e várias outros envolvendo o manejo e manutenção dos recursos hídricos, inclusive na produção de alimentos (VASCONCELOS, 2009).

Contudo, efetuar a contabilidade hídrica no solo, não é uma atividade simples, pois envolve a empregabilidade de equipamentos muito sofisticados e mão de obra especializada (Vasconcelos, 2009). Assim, torna-se inacessível a grande parte dos interessados em utilizá-lo, por não possuírem todos os recursos necessários para tal. Faz-se necessário, portanto, um modo de estimar-se o balanço hídrico, de uma maneira mais fácil de ser utilizada.

Foram propostas por Thornthwaite e Matter (1955), equações empíricas matemáticas, capazes de estimar o balanço hídrico utilizando-se de variáveis meteorológicas. Estas equações podem substituir a utilização de equipamentos sofisticados utilizados para medir o balanço hídrico. Apesar de ser um método não tão preciso quanto auferir os dados através de equipamentos, segundo Thornthwaite e Matter (1955), é perfeitamente capaz de fornecer estimativas com resultados bem próximos e confiáveis, sendo uma excelente alternativa.

É importante que as tecnologias que dão apoio ao desenvolvimento agrícola sustentável, não sejam acessíveis apenas para alguns poucos que possuem recursos, mas sim para os agricultores como um todo. O Balanço Hídrico Climatológico apresenta-se como um importante aliado neste quesito. Ele apresenta-se não apenas como uma ferramenta capaz de contribuir para a economia de água na agricultura, entre outros setores, como também uma ferramenta acessível aos produtores de baixa renda.

1.2. Objetivos

Objetivo Geral

Propor uma ferramenta computacional que possa facilitar a estimativa do balanço hídrico do solo (armazenamento, deficiência e excesso), e contribuir para o aumento da eficiência do uso da água e para a gestão dos recursos hídricos.

Objetivos Específicos

Para atingir ao objetivo delimitado, torna-se necessário:

- Destacar a importância do balanço hídrico para a economia de água e em que áreas o mesmo pode ser utilizado;
- Desenvolver uma ferramenta computacional que permita ao usuário obter um balanço hídrico de forma rápida;
- Realizar um estudo de caso, aplicando os cálculos do balanço hídrico à cidade de Teixeira de Freitas – BA.

2. MARCO TEÓRICO

Este capítulo fornece um entendimento crucial sobre desenvolvimento sustentável, o que é o Balanço Hídrico, quais os seus benefícios em relação à sustentabilidade, quais os elementos que o compõe e como são calculados.

2.1. Desenvolvimento Sustentável

De acordo com Caporal e Costabeber (2007), não há uma definição exata para o termo desenvolvimento sustentável. Em linhas gerais, este termo é entendido como uma forma de desenvolvimento capaz de satisfazer as necessidades da geração presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer as suas próprias necessidades. Este conceito implica uma transformação progressiva da economia e da sociedade, expandindo-se o potencial produtivo e ao mesmo tempo, assegurando-se a igualdade de oportunidade para todos.

A ideia chave do termo sustentável apoia-se na noção de sustentabilidade, que é definida por alguns estudiosos como sendo a característica de um processo que pode manter-se indefinidamente. Ela fundamenta-se no conceito de equilíbrio entre as potencialidades e limitações existentes. Assim, o desenvolvimento humano requer um equilíbrio dinâmico entre população, capacidade do meio ambiente e vitalidade produtiva, o que supõe que a utilização de recursos não pode exceder a capacidade de regeneração e de manutenção da integridade e equilíbrio dos ecossistemas (MAGALHÃES *et al.* 2013).

Segundo Caporal e Costabeber (2007), o termo sustentável engloba três pilares fundamentais:

- Sustentabilidade ecológica. É a que implica a manutenção das principais características do ecossistema que lhe são essenciais para sua sobrevivência em longo prazo.
- Sustentabilidade econômica. Refere-se a gestão adequada dos recursos naturais que torne viável continuar com o sistema econômico vigente.

- Sustentabilidade social. Esta é alcançada quando os custos e benefícios são distribuídos de maneira adequada tanto entre o total da população atual quanto entre a geração presente e as gerações futuras.

O fundamento da sustentabilidade é o reconhecimento dos efeitos que as atividades atuais de uso dos recursos naturais poderão ter sob as futuras gerações (VICTORINO, 2007). De acordo com este pensamento, a sustentabilidade só pode ser alcançada se dois importantes princípios forem levados em consideração. Primeiramente, o nível de extração de recursos naturais não deve exceder a capacidade de regeneração do meio ambiente. Em segundo, o nível de emissão dos dejetos ao meio ambiente não deve superar a capacidade que os ecossistemas receptores têm de assimilação destes dejetos (CAPORAL E COSTABEBER, 2007).

As preocupações com o meio ambiente sugerem modificações que vão muito além de transformações nos sistemas físicos. Sugerem modificações, acima de tudo, no comportamento de cada ser humano presente na sociedade, com mudanças nos valores e nas atitudes sociais. É indispensável que seja gerada uma mudança de consciência nas sociedades, que permita a assimilação de novos valores ecológicos (VICTORINO, 2007).

2.2. Agricultura e Sustentabilidade

De acordo com Caporal e Costabeber (2007), a agricultura, não é somente como uma atividade de natureza ecológico-biológica, mas também como uma prática sociocultural e econômica, a qual tem recebido nos últimos anos uma destacada atenção a respeito do tema sustentabilidade. Isto decorre, em grande parte, devido a crescente popularização da expressão 'desenvolvimento sustentável' nos meios acadêmicos, políticos e institucionais.

A revolução verde, embora tenha sido capaz de promover o incremento da produção e produtividade agrícola em distintas regiões do mundo, tem sido bastante criticada por diversos estudiosos, como Caporal e Costabeber (2007), Victorino (2007), entre outros, por ter privilegiado aos agricultores com maior poder aquisitivo e aos agroecossistemas com maior capacidade de resposta aos

investimentos tecnológicos, aumentando conseqüentemente, as desigualdades sociais.

Diante da crise do modelo tecnológico agrícola atual, o antigo pensamento de 'produtividade a qualquer custo' passa a ceder espaço para a emergência do discurso da sustentabilidade. Para que tal sustentabilidade possa existir, é necessário que a produção agrícola tenha a capacidade de sustentar-se em longo prazo, de um modo que não degrade a terra e a água que a sustenta. Alcançar a sustentabilidade ambiental significa alcançar uma coexistência harmônica entre o homem e seu ambiente, evitando a deterioração do ecossistema (CAPORAL E COSTABEBER, 2007).

Torna-se imprescindível que uma agricultura que seja considerada sustentável, tenha como meta elevar não somente a produtividade e as rendas médias, mas também a produtividade e as rendas dos que não possuem recursos. É importante colocar-se em evidência a necessidade de considerar a equidade como parte das preocupações ambientais. (VICTORINO, 2007).

Conforme expressa Caporal e Costabeber (2007), a agricultura sustentável não é um simples modelo ou pacote para ser imposto aos agricultores, mas sim, um processo de aprendizagem. Como tal, ela pode ser compreendida como uma meta, um objetivo de chegada que trata de assegurar que todos os sistemas agrários cumpram certos princípios básicos para a sustentabilidade.

A irrigação, atividade que visa suprir as demandas de água necessária para a produção agrícola quando a precipitação se faz ausente, consome mais de dois terços da água doce utilizada no planeta. No Brasil, o setor agrícola é o principal usuário de água, sendo que este setor, está cada vez mais voltado para o abastecimento do mercado externo, conforme relata Carmo *et al.* (2007). Esta grande quantidade no consumo da mesma, torna a questão da utilização inteligente deste recurso natural, uma das maiores preocupações no cenário sustentável agrícola.

De acordo com Carmo *et al.* (2007), o Brasil ocupa um espaço extremamente importante no mercado internacional, sendo um dos maiores exportadores de soja e açúcar. Em termos econômicos, o peso crescente que esses produtos possuem na balança comercial brasileira torna essas atividades produtivas essenciais para o país. Essa posição de destaque, é conseqüência

da disponibilidade de terras cultiváveis e de recursos hídricos, além dos custos relativamente baixos de produção. Em termos ambientais mais amplos, isto representa, a transferência de um 'recurso ambiental que o Brasil possui em grande quantidade, a água', para países que não dispõem deste recurso.

Carmo *et al.* (2007), faz uma interessante reflexão sobre o conceito de 'água virtual', utilizado por alguns pesquisadores. Este conceito implica o comércio indireto da água, que está embutida em certos produtos, especialmente as *commodities* agrícolas, enquanto matéria prima intrínseca desses produtos.

Ainda segundo os autores, de acordo com as projeções da ONU, em 2030 a terra terá uma população de 8,1 bilhões de pessoas. O que significa que a oferta de alimentos terá que aumentar em torno de 55%, comparado aos dias de hoje. Conseqüentemente, o volume de água utilizada na irrigação será elevado a níveis extremamente preocupantes.

O Brasil, país considerado com grande disponibilidade hídrica, já apresenta problemas de escassez de recursos hídricos. Este problema vem sendo amplamente discutido e estudado por pesquisadores como Vasconcelos (2009), Carmo *et al.* (2007), Caporal e Costabeber (2007), entre outros. Enquanto a demanda por água cresce a cada dia, sabe-se que as reservas disponíveis não são inesgotáveis. É imprescindível que sejam tomadas ações para alertar a sociedade a respeito da importância da economia da água, quanto ao seu uso e reuso.

2.3. Balanço Hídrico

2.3.1 Componentes do balanço hídrico

O BHC consiste na determinação dos ganhos e perdas hídricas que se verificam em um terreno com vegetação, considerando-o um reservatório de água. Para melhor compreensão do balanço hídrico, ilustrou-se na Figura 2.1 a concepção de equilíbrio hídrico que deverá estar disponível se a área investigada for vegetada, em analogia ao princípio de balança. Este BHC não é aplicado em terrenos sem vegetação, pois os cálculos elaborados por Thornthwaite e Matter (1955) levam em consideração o processo de evapotranspiração das plantas.

Como entrada do reservatório tem-se a precipitação (P) e/ou irrigação (IR). A saída é composta pela perda de água através da infiltração efetiva (Ie) e da evapotranspiração (ET). O saldo obtido pelo armazenamento hídrico (ΔARM) é o resultado do que chamamos de Balanço Hídrico.

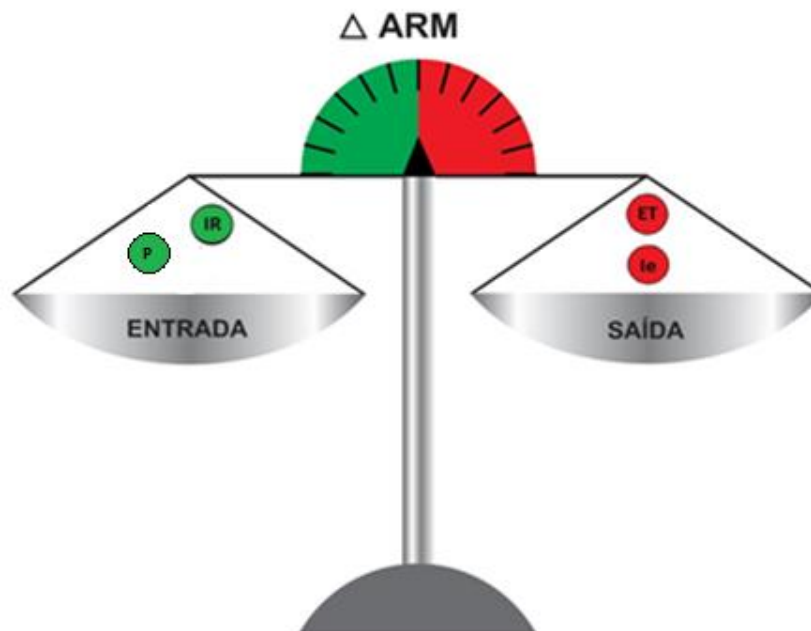


Figura 2.1 – Representação esquemática da relação entre os elementos do balanço hídrico no solo.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A Figura 2.2 esquematiza a relação entre os sistemas solo, planta e atmosfera, acrescidos dos mecanismos de entrada de água no solo, e sua incapacidade de reter completamente o abastecimento proveniente dos ganhos hídricos. Estabelecem-se como entrada de água a precipitação (P) e a irrigação (IR), como saída de água têm-se a evapotranspiração (ET) e a infiltração efetiva (Ie). Ao final, a contabilidade hídrica do solo deve ser suficiente para a manutenção de vida do cultivo.

A irrigação, de acordo com Carmo *et al.* (2007) é a aplicação de água sobre o solo feita pelo homem para repor a umidade necessária na zona das raízes. Esta atividade que complementa a chuva, favorece o crescimento das plantas. A vantagem da irrigação é aumentar a produção e obter produtos de melhor qualidade sem correr o risco de perdas por falta de chuva. Um dos objetivos do BH é tornar possível a estimativa de quanto de irrigação àquela parcela de solo necessitará, de modo que seja aplicada no solo apenas a quantidade realmente necessária de água.

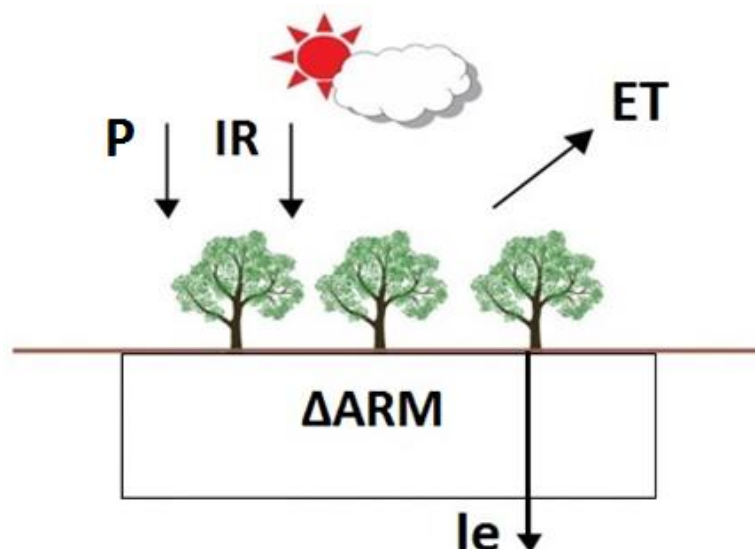


Figura 2.2 - Ilustração esquemática dos elementos de entrada e saída de água do BH.
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

No caso de o volume de controle ser muito grande (profundo) nos períodos mais secos, pode haver ascensão capilar (AC) da água do lençol freático para a zona das raízes, aumentando o suprimento de água para as plantas. Parte da água armazenada é utilizada na evapotranspiração (...) (PEREIRA, VILLA NOVA E SEDIYAMA, 1997, p. 36).

Para efeito de estimativa do balanço hídrico e seus resultados práticos, considera-se entrada de água o processo de precipitação e a irrigação (que será inserida pelo usuário de acordo com sua necessidade) e a saída, o processo de evapotranspiração e a infiltração efetiva.

Estabelecido o armazenamento (balanço hídrico), será analisado pelo produtor qual deverá ser a quantidade de água que o solo necessita para manutenção do cultivo – o que irá depender do tipo de cultivo. Com isto, ele não depositará – através do processo de irrigação, uma quantidade maior de água do que a necessária, e por consequência, contribuirá para sua economia. Esta economia realizada em larga escala pode ser um fator extremamente significativo para a sustentabilidade na agricultura e a questão da economia de água no Brasil e no mundo.

2.3.2. Aplicações do balanço hídrico

Os estudos do BH podem ser aplicados em inúmeras atividades. Dentro do contexto agroindustrial, por exemplo, o BH tem se mostrado muito eficiente,

como no suporte científico às tomadas de decisões. Também pode ser observado a aplicação do BH na elaboração do planejamento anual dos plantios, na caracterização e variação sazonal (deficiências e excedentes hídricos), entre outros (ZEPKA, 2002).

Sua eficácia e importância também têm sido comprovadas em atividades como a classificação climática, a previsão de rendimentos agrícolas e o planejamento em diversas áreas de atuação, sejam eles na agricultura, turismo, planejamento urbano, conforto térmico, construção de barragem, estradas e várias outras envolvendo o manejo e manutenção dos recursos hídricos (VASCONCELOS (2009), ZEPKA (2002) e CUNHA *et. al.* (2001)).

O BH pode ser fator determinante para uma mudança na maneira como o cultivo das culturas agrícolas são realizados, podendo influenciar de forma direta na produção de alimentos. Assim, o BH pode ser elemento modificador de uma questão social a nível mundial, onde a falta de alimentos no futuro coloca em cheque a sobrevivência da humanidade.

Os estudos envolvendo o balanço hídrico são empregados em inúmeras atividades, tais como na determinação dos intervalos de irrigação, na previsão da produtividade agrícola, na classificação climática, entre outras várias atividades, envolvendo o manejo e o planejamento dos recursos hídricos. (...) O balanço hídrico é uma das várias maneiras de se monitorar a variação do armazenamento de água no solo, a partir do suprimento de água, via precipitação, da demanda atmosférica e da capacidade de água disponível. Dessa maneira, o método do balanço hídrico simplificado permite a quantificação da evapotranspiração real, da deficiência ou excedente hídrico e do débito fluvial (CUNHA *et al.* 2011, p. 12).

De acordo com Pereira, Angelocci e Sentelhas (2014), entre as diversas aplicações, do balanço hídrico, destacam-se:

1) *Disponibilidade hídrica regional* – Caracterização e comparação climática regional quanto à disponibilidade hídrica média no solo.

2) *Caracterização de secas* – Caracterização de períodos de secas e de seus efeitos na agricultura, como redução da produção.

3) *Zoneamento agroclimático* – Estudo climático regional, sendo a região classificada como apta, marginal ou inapta em função das exigências térmicas e hídricas de um determinado cultivo.

4) *Determinação das melhores épocas de semeadura* – Simulações de semeadura/plantio em várias épocas indicam qual delas é menos sujeita a restrições hídricas para a cultura em questão.

Outro exemplo de aplicação do balanço hídrico é na contabilização hídrica de aterros sanitários. De acordo com Mateus (2008), a estimativa de geração de líquidos lixiviados em aterros sanitários é feita mediante a análise do balanço hídrico que, de uma forma simplificada, consiste na contabilização das entradas e das saídas de líquidos nos mesmos. Neste caso, além de considerar a entrada de água por meio de precipitação, o balanço hídrico considera também a entrada de líquidos provenientes de áreas adjacentes, parâmetros dos resíduos e materiais utilizados na camada de cobertura.

De acordo com Almeida (2009), os lixiviados são provenientes de três principais fontes: a umidade natural dos resíduos, a água proveniente do processo de decomposição, e o líquido originado de materiais orgânicos expelidos pelas bactérias em forma de enzimas. O entendimento do processo hidrológico é fundamental para a verificação da influência dos lixiviados no meio.

O balanço hídrico fornece o volume de lixiviados produzidos, que é um parâmetro de suma importância para o dimensionamento do sistema de drenagem e de tratamento destes líquidos. Para um sistema de drenagem bem dimensionado é necessário que seja realizado um planejamento realista sob o volume de lixiviados, de modo a evitar-se o acúmulo de líquidos sobre o sistema de impermeabilização e por consequência, a contaminação do subsolo (MATEUS, 2008).

O balanço hídrico também pode ser utilizado para contabilização de recargas subterrâneas. De acordo com Bertol *et al.* (2006), o balanço hídrico considera o solo como um reservatório delimitado pela região da zona de raízes, alimentado através de precipitações e com seus volumes máximos dados pela capacidade de armazenamento. A remoção de água contida nesse reservatório se faz através do processo de evapotranspiração. Durante os períodos em que o solo se encontra com sua capacidade de armazenamento totalmente suprida, os excedentes de infiltração podem percolar profundamente, vindo a transformar-se em recarga, e os excedentes superficiais podem escoar diretamente para a rede de drenagem fluvial.

São inúmeras as possibilidades de áreas em que o balanço hídrico pode ser aplicado. A presente dissertação, como tratado inicialmente, tem por objetivo focar a aplicação do balanço hídrico na agricultura, em especial no planejamento do processo de irrigação de culturas agrícolas. Dessa forma, contribuir-se-á para a economia de água na agricultura e por consequência com sua sustentabilidade.

2.3.3. Métodos de determinação do balanço hídrico

Apresenta-se aqui dois métodos para determinação do Balanço hídrico. Um, representa uma contabilidade direta (adquirida através de equipamentos), o outro, valores estimados (adquiridos através de equações algébricas e dados climatológicos). Pode-se, portanto, falar em métodos de medida e métodos de estimativa. O primeiro caso refere-se ao Balanço Hídrico Real – BHR, o segundo, refere-se ao Balanço Hídrico Climatológico – BHC, objeto do presente estudo.

2.3.3.1. Balanço Hídrico Real (BHR)

Segundo Reichardt (1987, apud PEREIRA, 2009, p.15), o Balanço Hídrico Real, ou BHR, é obtido através dos métodos diretos, fornecendo a contabilidade de todas as adições e retiradas de água que realmente ocorrem em determinada área, através de equipamentos extremamente sofisticados.

De acordo com Júnior (2016), os aparelhos destinados à medida direta da evapotranspiração são, genericamente, denominados evaporímetros. Os mais conhecidos são os atmômetros e os tanques de evapotranspiração:

Os atmômetros são instrumentos para a medida da evapotranspiração que se processa em uma superfície porosa. Esses equipamentos dispõem de um recipiente com água que se comunica com a superfície porosa que, por sua vez, se expõe ao ar. Dentre os mais conhecidos destacam-se o de Piché (papel de filtro como superfície porosa) e o de Livingstone (cerâmica porosa) (...). Os tanques de evaporação são recipientes achatados, metálicos, em forma de bandeja e de seção quadrada ou circular, contendo água em seu interior e instalados sobre o solo nas proximidades da massa de água (ou flutuando sobre esta) cuja intensidade de evaporação se quer medir (...). O tanque de evaporação mais usado em nível mundial é o tanque classe A7, que tem a forma circular com um diâmetro de 1,22m, altura de 25,4cm, mantendo a borda livre variando entre 5,0 e 7,5cm. A quantidade de água evaporada é medida diariamente por uma ponta limnimétrica, ajustada por parafuso micrométrico e com extremidade em gancho. A evaporação medida

pelo tanque supera a que ocorre na superfície do reservatório. Este fato, evidenciado na prática e também comprovado teoricamente, se deve, sobretudo, à diferença de temperatura da água nos dois casos. O pequeno volume de água no evaporímetro e o metal exposto ao sol contribuem para substanciais variações de temperatura da água, à medida que se altera a temperatura do ar e a radiação solar. A grande massa de água em um lago e o efeito estabilizador das correntes de convecção e do solo, em volta do reservatório, têm como consequência uma amplitude menor na variação das temperaturas (JÚNIOR, 2016, p. 71 e 72).

Segundo Júnior (2016) numa estação medidora da evaporação realiza-se, ao mesmo tempo, a medida das grandezas que têm influência neste fenômeno. Assim, são incluídos no equipamento da estação: termômetros, anemômetro, psicrômetro e um pluviômetro ou pluviógrafo.

2.3.3.2. Balanço hídrico climatológico (BHC)

O balanço hídrico climatológico é uma maneira de obter-se dados equivalentes aos resultados apurados através do método do balanço hídrico real, de uma maneira mais acessível e barata, utilizando-se equações matemáticas. De acordo com Vasconcelos (2009) este método estima os excedentes e déficits hídricos usando apenas dados climatológicos, médias de precipitação e de temperatura fornecendo um valor estimado para o volume de água disponível para a recarga subterrânea.

De acordo com Zepka (2002), o objetivo do balanço hídrico é efetuar a contabilidade hídrica do solo, até a profundidade explorada pelas raízes, computando-se, sistematicamente, todos os fluxos hídricos positivos, que correspondem ao fornecimento de umidade ao solo, e negativos, os quais representam o consumo dessa umidade pela vegetação.

De acordo com Zepka (2002), efetuar diretamente a contabilidade hídrica de um solo com vegetação não é uma atividade simples, pois invariavelmente depende das condições do local. Em face dessas dificuldades encontradas para efetuar-se a contabilidade hídrica através de evaporímetros, foram desenvolvidos processos indiretos para estimar o balanço hídrico, a partir de variáveis meteorológicas, sendo estas, a temperatura média do ar e a precipitação (ZEPKA, 2002).

O Balanço Hídrico Climatológico, ou BHC, é um processo indireto para se obter resultados equivalentes ao BHR, de uma maneira muito mais acessível e

econômica. Ele representa uma estimativa do que ocorre em um dado local, sendo esta realizada através de cálculos matemáticos. Tais cálculos possuem como variáveis de entrada uma série de dados climatológicos (Temperatura média, precipitação e latitude local).

O BHC foi desenvolvido por Thornthwaite (1948), e posteriormente foi aprimorado por Mather (1955), para determinar o regime hídrico de um local, sem a necessidade de medidas diretas das condições de umidade do solo. Após este aprimoramento, tornou-se conhecido como Balanço Hídrico Climatológico de Thornthwaite e Mather.

O BHC é uma estimativa do que está ocorrendo no local, no que se refere à sua situação hídrica. Além do alto custo envolvido em se utilizar o método de medida direta – BHR, devido à necessidade de emprego de equipamentos especializados, como evapotranspirômetros, etc. e mão de obra especializada, para se trabalhar com uma ferramenta computacional é conveniente incluir um método de estimativa, pois estes fornecem equações empíricas que poderão ser ajustadas no programa e, além disso, tais equações são regidas por dados comumente encontrados no Brasil.

A partir da metodologia de Thornthwaite e Mather (1955), foram desenvolvidas diferentes metodologias para realização dos cálculos do balanço hídrico climatológico. A formulação do armazenamento hídrico proposta por Thornthwaite dar-se-á através da equação 2.1:

$$(2.1) \quad \mathbf{ARM} = \mathbf{CAD} * \exp [\mathbf{NEG ACUM} / \mathbf{CAD}]$$

Onde:

ARM = Armazenamento hídrico em mm;

CAD = Capacidade de armazenamento hídrico em mm;

NEG ACUM = Somatório dos negativos acumulados em mm.

A metodologia de Thornthwaite será explicada em detalhes ao avançar do capítulo. A seguir, ver-se-á alguns exemplos de formulações propostas por outros autores, a partir da formulação de Thornthwaite:

- **Custódio e Llamas (1976)**

Custódio e Llamas (1976) formularam um método para aferição do balanço hídrico, de modo a subsidiar o planejamento agrícola na análise das deficiências hídricas dos cultivos mediante a obtenção da evapotranspiração real.

O modelo proposto simula parte do ciclo hidrológico a partir da equação 2.2:

$$(2.2) \quad P = ETR + EXC + DR$$

Onde:

P = precipitação em mm;

ETR = evapotranspiração real em mm;

EXC = excedente de água (escoamento e infiltração) em mm;

DR = variação da reserva de água utilizada pelas plantas em mm.

Neste modelo, o balanço hídrico climatológico é processado no intervalo mensal e tem como base física um reservatório que contempla parte do solo não saturado para o qual ocorre o processo da evapotranspiração. Obtêm-se como variáveis de entrada os valores de precipitação e a evapotranspiração potencial, tendo como variáveis de saída a evapotranspiração real, a variação da reserva de água utilizável pelas plantas e o excedente hídrico. A variável excedente (EXC) é, uma somatória da infiltração além da “reserva de água utilizável pelas plantas” (recarga) e os escoamentos direto e subsuperficial potencial. A separação e quantificação do fluxo de base e do escoamento superficial direto é obtida a partir de diversas técnicas de separação de hidrogramas, utilizando-se para este fim, técnicas manuais (mínimos quadrados) ou técnicas automatizadas (hidrograma unitário geomorfológico instantâneo - HUIG) (CUSTÓDIO E LLAMAS, 1976).

- **Angelocci e Sentelhas (2012)**

De acordo com Angelocci e Sentelhas (2012), ao conhecer qual a umidade do solo ou a quantidade de água que o mesmo pode armazenar, é

possível determinar se a cultura está sofrendo deficiência hídrica, a qual está intimamente ligada aos níveis de rendimento dessa lavoura. De acordo com os autores, obtêm-se a variação de armazenamento hídrico através do cálculo descrito na equação 2.2:

$$(2.3) \quad \Delta \text{ ARM} = P + O + R_i + \text{DLi} + \text{AC} - \text{ET} - R_o - \text{DLo} - \text{DP}$$

Onde:

P = Precipitação em mm;

O = orvalho em mm;

R_i = escoamento superficial que entra na área em mm;

DL_i = escoamento subsuperficial que entra na área em mm;

AC = ascensão capilar Saídas em N.m⁻¹;

ET = evapotranspiração em mm;

R_o = escoamento superficial que sai da área em mm;

DLo = escoamento subsuperficial que sai da área em mm;

DP = drenagem profunda em mm.

Na formulação de Angelocci e Sentelhas (2012), a chuva representa a principal entrada de água em um sistema, ao passo que a contribuição do orvalho só assume papel importante em regiões muito áridas, sendo assim desprezível. As entradas de água pela ascensão capilar também são muito pequenas e somente ocorrem em locais com lençol freático superficial e em períodos muito secos. Mesmo assim, a contribuição dessa variável é pequena, sendo também desprezível. Já os fluxos horizontais de água (R_i, R_o, DL_i e DL_o), para áreas homogêneas, se compensam, portanto, anulando-se. A ET é a principal saída de água do sistema, especialmente nos períodos secos, ao passo que DP constitui-se em outra via de saída de água do volume controle de solo nos períodos excessivamente chuvosos.

- **Mendonça (1958)**

Na formulação de Mendonça (1958), para uma sequência de “n” meses com estiagem após a estação chuvosa, o armazenamento (ARMn) ao longo desses meses será dado pela equação 2.3:

$$(2.4) \text{ ARMn} = \text{CAD} \times \exp(\text{Neg acum} / \text{CAD}) = \text{CAD} \times \exp(\sum (P - \text{ETP})_n / \text{CAD})$$

Onde:

ARM n = armazenamento no mês “n” em mm;

CAD = armazenamento máximo de água no solo em mm;

P = precipitação média mensal no mês “n” em mm;

ETP = evapotranspiração de referência no mês “n” em mm;

Neg acum = somatório anual dos negativos acumulados até o mês “n” em mm.

Mendonça sugeriu que o valor de ARM no fim do período chuvoso seja dado pela equação 2.4:

$$(2.5) \text{ ARM} = M / (1 - \exp(N/\text{CAD}))$$

Onde:

ARM = armazenamento no mês “n” em mm;

M = somatório dos resultados positivos de P - ETP em mm;

N = somatório dos resultados negativos de P - ETP em mm;

CAD = armazenamento máximo de água no solo em mm.

- **Tomasella e Rossato (2005)**

O método proposto por Tomasella e Rossato (2005), assim como os demais, é uma variação do método de Thornthwaite e Mather (1955). Esse método considera que a taxa de perda de água por evapotranspiração varia linearmente com o armazenamento de água no solo. Em condições naturais um ecossistema cultivado apresenta um balanço hídrico que pode ser expresso da seguinte forma (equação 2.5):

$$(2.6) \quad P + I - ET - R \pm D \pm \Delta A = 0$$

Onde:

P = Precipitação em mm;

I = Irrigação em mm;

ET = evapotranspiração em mm;

R = escoamento superficial da água em mm;

D = drenagem profunda em mm;

ΔA = variação da água armazenada no solo.

O balanço hídrico é calculado na terminologia de Tomasella e Rossato de acordo com a equação 2.6 a seguir:

$$(2.7) \quad S^{t+1} = S_t + PRE_t - ETR_t$$

Onde:

S = armazenamento de água no solo em mm;

PRE = precipitação em mm;

t = tempo em dias;

ETR = evapotranspiração real da vegetação em mm.

Dentre as técnicas utilizadas para o cálculo do BHC, optou-se pela formulação original de Thornthwaite e Mather (1955), de acordo com a descrição de Vasconcelos (2009) por sua abordagem didática na descrição de suas formulações, bem como o método de Camargo (1971) segundo a descrição do mesmo. Os métodos serão explicados em detalhes no decorrer deste capítulo.

2.3.4. Variáveis do balanço hídrico climatológico

Conforme já mencionado, através do BHC é possível estabelecer os ganhos e perdas hídricas no armazenamento de água do solo, tendo como bases variáveis meteorológicas, ou seja, variáveis relacionadas a fenômenos que ocorrem na atmosfera. Utilizam-se como bases os dados de temperatura média do ar e de precipitação de determinado espaço físico. Entre os elementos de

entrada de água, não será levado em conta fenômenos como neve e geada devido à escassez de ocorrência em nosso país.

➤ **Precipitação**

É um dos elementos de entrada de água no BH. De acordo com o Carvalho e Silva (2006), precipitação é a água proveniente do vapor d'água da atmosfera depositada na superfície terrestre de diversas formas: chuva, granizo, orvalho, neblina, neve e geada. No entanto, nas regiões tropicais, é comum tratar a precipitação somente sob a forma de chuva, porque a precipitação na forma de neve não é significativa nas regiões brasileiras, bem como suas outras formas.

Dentre os elementos necessários à sua formação, cita-se a umidade atmosférica, mecanismos de resfriamento do ar (quanto mais frio o ar, menor sua capacidade de suportar água em forma de vapor, o que culmina com a sua condensação) e o mecanismo de crescimento das gotas (coalescência: processo de crescimento devido ao choque de gotas pequenas originando outra maior; difusão de vapor: condensação do vapor d'água sobre a superfície de uma gota pequena), dentre outros. (CARVALHO e SILVA, 2006).

É válido ressaltar que de acordo com Carvalho e Silva (2006), a formação de vapor de água na atmosfera não é garantia de que o líquido contido irá precipitar. Para que este fenômeno ocorra, é necessário que as gotas aumentem e seu peso seja superior as forças que a sustentam no ar.

Segundo Santos (2006), em virtude de a água ser o principal componente na constituição dos seres vivos, as distribuições temporal e espacial das precipitações são dois dos fatores que condicionam o clima e que estabelecem o tipo de vida de uma região.

O estudo das precipitações é, então, uma ferramenta de fundamental importância na agricultura, pois conhecendo-se a probabilidade de ocorrência de certos eventos, como por exemplo: de um veranico (curtos períodos secos dentro da estação chuvosa de uma região); de alguns dias consecutivos chuvosos; da ocorrência de chuvas intensas; bem das probabilidades associadas a esses eventos, pode-se fazer o planejamento do preparo, manejo e conservação do solo; da semeadura e colheita das culturas; da necessidade de estruturas hidráulicas como barragens, pontes, bueiros; da implantação e manejo de sistemas de irrigação, etc. (SANTOS, 2006, p. 31).

- Medidas da precipitação

De acordo com Carvalho e Silva (2006), a quantidade de chuva (h) é expressa pela altura de água caída e acumulada sobre uma superfície plana e impermeável. Ela é avaliada por meio de medidas executadas em pontos designados previamente, e suas grandezas são obtidas de forma direta ou indireta, através do auxílio de aparelhos chamados pluviômetros ou pluviógrafos, conforme sejam simples receptáculos da água precipitada ou registrem essas alturas no decorrer do tempo.

A medida da precipitação é feita de uma maneira bastante simples. Usa o princípio de medir a quantidade de água que cai sobre uma superfície como se fosse uma altura da coluna de água que seria formada se a superfície estivesse impermeabilizada. Para tanto basta dividir o volume de precipitação coletado pela área do coletor. $h = \text{Volume} / \text{Área}$. Isso transforma a quantidade de água numa grandeza que independe da área onde essa precipitação ocorreu. A altura de uma coluna de água pode ser tanto sobre 1m^2 como sobre 1ha . Os volumes coletados nestas diferentes áreas, obviamente serão diferentes para uma mesma altura de coluna de água. A unidade básica de medida da precipitação usada em meteorologia é o milímetro. 1mm corresponde à altura da coluna da água formada quando despejamos 1 litro sobre uma superfície impermeabilizada de área igual a 1m^2 (...). Os equipamentos utilizados para a medida da precipitação são chamados de pluviômetros, (...), ou pluviógrafos. Esses equipamentos funcionam basicamente coletando o volume da água precipitada sobre uma área entre 200 e 500cm^2 . No pluviômetro obtém-se a precipitação acumulada em um intervalo de tempo de 1 dia, (por isso é chamado de pluviômetro integrador, pois integra a precipitação pluviométrica no tempo), cujas leituras normalmente são realizadas às 0h , hora do meridiano de Greenwich, que corresponde a $9:00\text{h}$ da manhã, hora oficial de Brasília. Nos pluviógrafos, obtém-se informações relativas à duração da chuva e sua intensidade (SANTOS, 2006, p. 41-42).

➤ **Evapotranspiração**

A evapotranspiração é um dos elementos de saída de água no balanço hídrico. De acordo com Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997), evaporação é o fenômeno pelo qual uma substância passa da fase líquida para a fase gasosa (vapor). A evaporação da água ocorre tanto em uma massa contínua, como mares, lagos, rios e poças, quanto em superfícies úmidas, como plantas e solos. Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997) definem também o processo de transpiração, sendo este considerado a perda de água que foi utilizada nos

diversos processos metabólicos necessários ao crescimento e desenvolvimento das plantas, na forma de vapor.

Em uma superfície vegetada, ocorrem simultaneamente os processos de evaporação e de transpiração. De acordo com Vasconcelos (2009), evapotranspiração é o termo utilizado para expressar a ocorrência simultânea destes dois processos. A quase totalidade da água que é absorvida pelas raízes das plantas perde-se na parte aérea pelo processo de transpiração. A evaporação da água do solo e da superfície dos vegetais e a transpiração das plantas ocorrem simultaneamente na natureza, sendo difícil distinguir os dois processos. Assim, o termo evapotranspiração (ET) é utilizado para descrever o processo total de transferência de água do sistema solo-planta para a atmosfera. (VASCONCELOS, 2009).

A taxa de ET é de grande importância na determinação da necessidade hídrica das culturas agrícolas e, associada ao ganho de água através das precipitações, permite determinar a disponibilidade hídrica de uma região, sendo um parâmetro de grande importância na ecologia vegetal e no planejamento agrícola (VASCONCELOS, 2009).

Para a avaliação do balanço hídrico de uma região, é necessário introduzir os diferentes conceitos de ET. São eles:

- Evapotranspiração Potencial (ETP)

De acordo com Pereira, Angelocci e Sentelhas (1995, apud Teixeira, Beltrão e Evangelista, p. 51) evapotranspiração potencial (ETP) é a quantidade de água transferida para a atmosfera por unidade de área e tempo em uma determinada superfície natural, totalmente coberta por vegetação baixa (a grama é a principal vegetação adotada, e, em alguns tipos de clima adota-se alfafa), em fase de crescimento ativo, com altura uniforme, e teor de água no solo próximo. Este mesmo conceito é reforçado por Pereira, Villa Nova e Sediyaama (1997, p. 23), ao dizer que o processo de ETP corresponde 'à água utilizada por uma extensa superfície vegetada, em crescimento ativo e cobrindo totalmente o terreno, estando este bem suprido de umidade', ou seja, em nenhum instante a demanda atmosférica é restringida por falta de água no solo.

(...) A vegetação deve ser baixa e de altura uniforme. A grama foi prontamente tomada como padrão pois esta é a cobertura utilizada nos postos meteorológicos. (...) é um elemento climatológico fundamental, que corresponde ao processo oposto da chuva, sendo expressa na mesma unidade de medida (mm) (PEREIRA, VILLA NOVA E SEDIYAMA, 1997, p. 23).

A perda hídrica do sistema solo-planta para a atmosfera sob estas condições ocorre exclusivamente em função única do balanço vertical de energia, ou seja, das condições atmosféricas sobre a vegetação sem interferências de outros fatores, podendo ser estimada por modelos matemáticos teóricos empíricos (VASCONCELOS, 2009).

“A diferença entre a chuva e a ETP resulta no balanço hídrico climatológico, indicando excessos e deficiências de umidade ao longo do ano ou da estação de crescimento de culturas” (PEREIRA, VILLA NOVA E SEDIYAMA, 1997, p. 23).

Segundo Pereira, Villa Nova e Sediyaama (1997), um ponto que causa bastante confusão e incompreensão no conceito de ETP, é referente ao tamanho da área vegetada, visto que na definição de Thornthwaite (1948) diz apenas que esta deve ser “extensa”. Na época não houve preocupação em definir as condições de contorno para que a evapotranspiração seja realmente potencial. No entanto, o sentido de “área extensa” implica em área suficientemente grande para que a evapotranspiração seja resultante apenas das trocas verticais de energia, e limitada apenas pela disponibilidade de radiação solar (PEREIRA, VILLA NOVA E SEDIYAMA, 1997).

(...) no caso de uma extensa superfície vegetada, sem limitações de umidade do solo, e circundada por uma área seca, a evapotranspiração potencial corresponde ao valor mínimo observado abaixo da área tampão, no sentido dos ventos predominantes. Em regiões áridas, quando rigorosamente aplicada, essa definição faz com que o conceito de evapotranspiração potencial seja inaplicável (...). Condições realmente potenciais ocorrem 1 a 2 dias após uma chuva generalizada, onde toda a região está umedecida e as contribuições advectivas são minimizadas, independentemente do tamanho da área vegetada. Essa condição não ocorre em regiões áridas e semiáridas, e também nos meses de estiagem em regiões com chuvas sazonais (PEREIRA, VILLA NOVA E SEDIYAMA, 1997, p. 24).

- Evapotranspiração Real (ER)

De acordo com Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997, p. 26), a evapotranspiração real (ER), é 'aquela que ocorre numa superfície vegetada, independentemente de sua área, de seu porte e das condições de umidade do solo'. Portanto, é aquela que ocorre em qualquer circunstância, sem imposição de qualquer condição de contorno.

A ER, segundo Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997, p. 26), pode assumir tanto o valor potencial quanto outro qualquer. A ER 'pode ser limitada tanto pela disponibilidade de radiação solar como pelo suprimento de umidade pelo solo'.

De acordo com a abordagem de Angelocci e Sentelhas (2009), a evapotranspiração real – ER é determinada através da quantidade de água que é transferida para a atmosfera terrestre através do processo de evaporação e transpiração das plantas, nas condições realmente existentes de elementos atmosféricos e de umidade do solo. É importante salientar que a evapotranspiração real sempre será igual ou menor do que a evapotranspiração potencial (potencial máximo de evaporação e transpiração das plantas) ou seja, $ER \leq ETP$

➤ **Infiltração Efetiva**

De acordo com Reichardt *et al.* (1996) o processo de infiltração tem grande importância prática, pois, determina o balanço de água na zona das raízes, bem como o deflúvio superficial - responsável pelo fenômeno da erosão durante precipitações pluviais. Baseado nisso, conhecer tal processo e suas relações com as propriedades do solo é essencial para o eficiente manejo da água e do solo nos cultivos agrícolas.

Segundo Panachuki (2003), define-se infiltração efetiva como a entrada de água no solo através da interface solo-atmosfera. O termo taxa de infiltração refere-se à quantidade de água que atravessa a unidade de área da superfície do solo por unidade de tempo. Durante o processo de infiltração, apresentando-se o solo inicialmente seco, a taxa de infiltração tende a decrescer, atingindo um valor final constante. Esse valor constante, denominado de taxa de infiltração estável, é um importante atributo para a elaboração de projetos de irrigação, de drenagem, conservação do solo e manejo da irrigação. No entanto,

segundo o autor, seu valor geralmente é bastante variável, o que pode implicar em problemas, sobretudo quando é adotado um valor não representativo da área de interesse. Dentre as principais causas dessa variabilidade, relacionam-se às propriedades do solo e da água, além do método utilizado para sua determinação.

O solo é um meio poroso e heterogêneo, cujas propriedades podem ser alteradas com o tempo e conforme o sistema de manejo praticado. A infiltração de água no solo é um fenômeno físico que consiste na entrada de água no solo pela sua superfície, podendo ser influenciada pelas suas propriedades intrínsecas e pelo modo como a água atinge sua superfície. A taxa de infiltração de água no solo é talvez, isoladamente, a propriedade que melhor reflete as condições físicas gerais do solo, sua “qualidade” e estabilidade estrutural. (PANACHUKI, 2003, p. 18-19).

➤ **Temperatura do ar**

A temperatura do ar é um dos efeitos da radiação solar. O aquecimento da atmosfera próxima à superfície terrestre ocorre principalmente por transporte de calor, a partir do aquecimento da superfície pelos raios solares. A temperatura é um importante elemento meteorológico, pois a mesma traduz os estados da atmosfera e conseqüentemente revela a circulação atmosférica, sendo capaz de facilitar e/ou bloquear os fenômenos atmosféricos (ANGELOCCI E SENTELHAS, 2009).

Segundo Angelocci e Sentelhas (2009), existem alguns fatores determinantes da temperatura do ar. Estes fatores são aqueles associados às três escalas dos fenômenos atmosféricos: Fatores Macroclimáticos - Relacionados à latitude, altitude, correntes oceânicas, continentalidade / oceanidade, massas de ar e frentes. Fatores Topoclimáticos - Relacionados ao relevo, mais especificamente à configuração e exposição do terreno. Fatores Microclimáticos - Relacionados à cobertura do terreno.

A temperatura do ar varia basicamente em função da disponibilidade de radiação solar na superfície terrestre. O valor máximo diário da temperatura do ar ocorre normalmente de 2 a 3h após o pico de energia radiante, o que se deve ao fato da temperatura do ar ser medida a cerca de 1,5 a 2,0 m acima da superfície. Já a temperatura mínima diária ocorre de madrugada, alguns instantes antes do nascer do sol. (ANGELOCCI E SENTELHAS, 2009, p. 17).

Obtém-se a temperatura média mensal através do cálculo da média das temperaturas diárias. Os valores médios mensais de temperatura, assim como a latitude, são dados necessários para o cálculo da evapotranspiração potencial pelo método empírico de Thornthwaite e Mather (1955). Neste método correlacionam-se dados de evapotranspiração potencial - medida em evapotranspirômetros, com dados de temperatura média mensal.

A temperatura do ar varia espacialmente também na vertical. Como tanto o aquecimento como o resfriamento do ar se dão a partir da superfície, durante o dia a tendência é da temperatura do ar ser maior próxima à superfície e menor com a altura. Já de madrugada, essa situação se inverte, sendo a temperatura menor próxima à superfície e maior com o aumento da altura. (ANGELOCCI E SENTELHAS, 2009, p. 20).

Através da remissão de ondas eletromagnéticas e do contato do solo com a atmosfera terrestre, o solo aquece o ar. Ao ser aquecido o ar passa a ter uma densidade menor e por convecção o mesmo sobe (PANACHUKI, 2003).

➤ **Índices de conforto térmico**

Dentro do balanço hídrico climatológico o índice de conforto térmico é calculado através de equações empíricas, de acordo com os valores climatológicos de entrada. Seu resultado é importante para determinar-se os valores de evapotranspiração das plantas.

Segundo Vasconcelos (2009), os índices de conforto térmico tentam sintetizar os efeitos das variáveis do conforto térmico. Eles são estabelecidos a partir das condições climáticas do local. Na formulação de Thornthwaite e Mather (1955), utilizam-se tanto os índices de conforto térmicos mensais, quanto o índice de conforto térmico anual.

De acordo com Lyra (2007), O conforto térmico é mensurado através de zonas de conforto ou índices de conforto que são estabelecidos a partir das condições climáticas e culturais de cada local. Em linhas gerais, ele é obtido por trocas térmicas que dependem de vários fatores. Dentre estes fatores estão os ambientais ou pessoais e os governados por processos físicos, como convecção, radiação, evaporação, etc. Da necessidade de se criar uma escala-

síntese dos diversos efeitos das variáveis que interferem nas condições de conforto térmico, surgem, então, os índices de conforto térmico.

➤ **Fatores de correção**

Existem alguns fatores que podem influenciar diretamente a temperatura do solo e do ar, e por consequência, todo o processo de evapotranspiração. Dentre estes fatores estão a latitude do local, disponibilidade de radiação. Para corrigir este problema, estabeleceu-se alguns fatores de correção que variam de acordo com o mês do ano e a latitude de cada local. (PEREIRA, VILLA NOVA E SEDIYAMA, 1997).

De acordo com Cunha *et al.* (2011), fatores de correção são valores estimados pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), para ajustar nas equações a evapotranspiração potencial ao número de dias do mês e à duração do brilho solar diário para as latitudes de cada local. Estes fatores estão indicados na Tabela 2.1. Eles servem para diminuir a margem de erro dos cálculos do BHC, corrigindo os valores de evapotranspiração potencial de acordo com cada latitude.

➤ **Capacidade de armazenamento – CAD**

Em uma cultura anual, a profundidade do solo explorado pelas raízes varia com o estágio de desenvolvimento das plantas. Ao ser definida a profundidade das raízes, tem-se o volume de controle. A quantidade máxima de água retida, contra a força da gravidade. Este volume pode ser representado por $CAD = 0,01 (CC\% - PM\%) d z$. A capacidade de água disponível (mm) é representada por CAD. 'CC%' é a capacidade de campo; 'PM%' é o ponto de murcha; 'd' é a densidade global aparente do solo, e 'z' é a profundidade do volume de controle (mm). Caso o solo seja profundo, com diversos horizontes, a CAD do solo será dada pela soma das CADs de cada horizonte explorado pelas raízes. (PEREIRA, VILLA NOVA E SEDIYAMA, 1997).

De acordo com Doorenbos e Kassan (1994, p 306), o solo não é um reservatório passivo, isto é, a medida que vai secando a água fica mais fortemente retida sendo, portanto, cada vez mais difícil extraí-la de seu interior.

Isso significa que as plantas têm que gastar mais energia na captura dessa água, e este gasto explica a redução no crescimento e na produção de plantas sob condições de restrição de água no solo.

Portanto, apenas uma parte (p) da CAD pode ser considerada como água disponível (AD), ou seja, $AD = p \text{ CAD}$. Admite-se que até que esta fração ' p ' da CAD seja utilizada não há redução significativa na produtividade da cultura. De acordo com Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997), como o objetivo da irrigação é evitar que as plantas sofram danos por deficiência hídrica, deve-se irrigar sempre que o armazenamento se aproximar de $(1 - p)$ CAD. Assim, ao ter-se uma estimativa da evapotranspiração e da precipitação local, é possível contabilizar-se a água armazenada no solo.

2.3.5. Formulação de Thornthwaite e Mather (1955)

Estabeleceu-se uma equação para um mês de trinta dias, que correlaciona dados de evapotranspiração potencial, medida em evapotranspirômetros e em bacias hidrológicas com dados de temperatura média mensal e comprimento do dia. É necessário obter como dados de entrada os valores de temperatura média mensal do local, os valores de precipitação mensal e os valores mensais do fator de correção, determinados pelo próprio Thornthwaite, que varia de acordo com a latitude (THORNTHWAITE E MATHER, 1955).

A partir desta correlação foi estabelecida a formulação que segue:

$$(2.8) \quad I = \text{SOMATÓRIA } (I_i = 1 \text{ até } I_i = 12)$$

$$(2.9) \quad I_i = (T_i / 5)^{1,5}$$

Sendo T a temperatura média de cada mês do ano em $^{\circ}\text{C}$, portanto i varia de 1 a 12, e os índices térmicos mensais (I_i) somados, fornecerão o valor correspondente ao índice térmico anual.

$$(2.10) \quad \text{ET} = 16 (10 T / I)^a$$

$$(2.11) \quad \text{ETP} = \text{ET} * \text{COR}$$

Onde:

ET = Evapotranspiração não corrigida em mm;

ETP = Evapotranspiração potencial em mm.

Conforme já dito, T é a temperatura média mensal, I é o índice térmico e COR é um fator de correção que depende da latitude. A Tabela 2.1 informa todos os valores correspondentes ao fator de correção COR de acordo com as latitudes brasileiras (os fatores de correção irão ajustar nas equações a evapotranspiração potencial ao número de dias do mês e à duração do brilho solar diário para as latitudes de cada local).

Tabela 2.1 - Indicação dos fatores de correção de evapotranspiração em função da latitude - dados para o Brasil.

LAT	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
15°N	0,97	0,91	1,03	1,04	1,11	1,08	1,12	1,08	1,02	1,01	0,95	0,97
10°N	1,00	0,91	1,03	1,03	1,08	1,05	1,08	1,07	1,02	1,02	0,98	0,99
05°N	1,02	0,93	1,03	1,02	1,06	1,03	1,06	1,05	1,01	1,03	0,99	1,02
Eq	1,04	0,94	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04
05°S	1,06	0,95	1,04	1,00	1,02	0,99	1,02	1,03	1,00	1,05	1,03	1,06
10°S	1,08	0,97	1,05	0,99	1,01	0,96	1,00	1,01	1,00	1,06	1,05	1,10
15°S	1,12	0,98	1,05	0,98	0,98	0,94	0,97	1,00	1,00	1,07	1,07	1,12
20°S	1,14	1,00	1,05	0,97	0,96	0,91	0,95	0,99	1,00	1,08	1,09	1,15
22°S	1,14	1,00	1,05	0,97	0,95	0,90	0,94	0,99	1,00	1,09	1,10	1,16
23°S	1,15	1,00	1,05	0,97	0,95	0,89	0,94	0,98	1,00	1,09	1,10	1,17
24°S	1,16	1,01	1,05	0,96	0,94	0,89	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,17
25°S	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,88	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18
26°S	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,87	0,92	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18
27°S	1,18	1,02	1,05	0,96	0,93	0,87	0,92	0,97	1,00	1,11	1,12	1,19
28°S	1,19	1,02	1,06	0,95	0,93	0,86	0,91	0,97	1,00	1,11	1,13	1,20
29°S	1,19	1,03	1,06	0,95	0,92	0,86	0,90	0,96	1,00	1,12	1,13	1,20
30°S	1,20	1,03	1,06	0,95	0,92	0,85	0,90	0,96	1,00	1,12	1,14	1,21
31°S	1,20	1,03	1,06	0,95	0,91	0,84	0,89	0,96	1,00	1,12	1,14	1,22
32°S	1,21	1,03	1,06	0,95	0,91	0,84	0,89	0,95	1,00	1,12	1,15	1,23
33°S	1,22	1,04	1,06	0,94	0,90	0,83	0,88	0,95	1,00	1,13	1,16	1,23
34°S	1,22	1,04	1,06	0,94	0,89	0,82	0,87	0,84	1,00	1,13	1,16	1,24
35°S	1,23	1,04	1,06	0,94	0,89	0,82	0,87	0,94	1,00	1,13	1,17	1,25
36°S	1,24	1,04	1,06	0,94	0,88	0,81	0,86	0,94	1,00	1,13	1,17	1,26
37°S	1,25	1,05	1,06	0,94	0,88	0,80	0,86	0,93	1,00	1,14	1,18	1,27

Fonte: Villela e Matos, 1975.

O coeficiente “a” é obtido pela Equação 2.12.

$$(2.12) \quad a = 0,49239 + 1792 * 10^{-5} I - 771 * 10^{-7} I^2 + 675 * 10^{-9} I^3$$

Para os cálculos subsequentes também são efetuadas as seguintes considerações, segundo a equação 2.13:

$$(2.13) \quad \mathbf{ER} = \mathbf{ETP} \quad \text{quando } P - \mathbf{ETP} > 0; \mathbf{ER} = P + |\mathbf{ALT}| \quad \text{quando } \mathbf{ALT} < 0$$

Onde:

a = Variável de ajuste da evapotranspiração sem unidade métrica;

I = Índice térmico em °C;

ER = Evapotranspiração Real em mm;

ETP = Evapotranspiração Potencial em mm;

P = Precipitação em mm.

A ER será igual a P se a diferença entre P e ETP for negativa, caso seja positiva, ER será igual ao valor da ETP.

$$(2.14) \quad \mathbf{Ie} = P - \mathbf{ER}$$

Onde:

Ie = Infiltração efetiva;

Ie é calculada pela diferença entre a precipitação P e a evapotranspiração real ER.

$$(2.15) \quad \mathbf{ARM} = \mathbf{CAD} * \exp [\mathbf{NEG ACUM} / \mathbf{CAD}]$$

Onde:

ARM = Armazenamento hídrico em mm;

CAD = Capacidade de água disponível em mm. Valor básico = 100 mm;

NEG ACUM = Somatório do negativo acumulado em mm.

Para cálculo do NEG ACUM inicia-se o preenchimento da coluna NEG ACUM no primeiro mês que aparecer valor negativo de $P - ETP$ após um período de valores positivos de $P - ETP$ cuja soma seja maior ou igual à CAD.

$$(2.16) \quad \mathbf{ALT} = \mathbf{ARM}^M - \mathbf{ARM}^{M-1}$$

Onde:

ARM = Alteração no Armazenamento em mm;

M = Mês em questão.

ALT = Alteração no armazenamento em mm. A ATL é obtida pela diferença entre o ARM do mês em questão e o ARM do mês anterior.

Visto que a formulação de Thornthwaite e Matter (1955) foi estabelecida para um mês de 30 dias, afim de seja calculado o balanço hídrico diário, utilizar-se-á uma variação da equação de evapotranspiração potencial, desenvolvida por Camargo (1971). A equação (2.15), permite que o balanço hídrico seja aplicado a quaisquer quantidades de dias.

$$(2.17) \quad \mathbf{ETP} = 0,01 * \mathbf{Q}_0 * \mathbf{T} * \mathbf{ND}$$

Onde:

ETP = Evapotranspiração Potencial em mm;

Q₀ = Correção baseada na Irradiância solar global extraterrestre em mm;

T = Temperatura média em °C;

ND = Número de dias;

Em que Q₀ é a irradiância solar global extraterrestre, expressa em mm de evaporação equivalente por dia (Tabela 2.2). T é a temperatura média do ar (°C), no período considerado; e ND o número de dias do período considerado.

De acordo com Pereira, Angelocci e Sentelhas (2007), essa fórmula facilita a estimativa de ETP pois não há necessidade de se conhecer a temperatura média anual (normal), e ela reproduz bem os valores estimados pela fórmula de Thornthwaite e Matter (1955).

Torna-se evidente que são muitos os cálculos necessários para obter-se o balanço hídrico climatológico. Nem todo agricultor tem a afinidade necessária para a realização dos mesmos. Mesmo nos casos em que a afinidade com as equações matemáticas não é um problema, o processo demasiadamente repetitivo de obtenção dos dados pode induzir o usuário ao erro, pondo em risco todo o processo de tomada de decisões baseado nas informações adquiridas.

Tabela 2.2 – Radiação solar global extraterrestre (Q_0 , expressa em mm de evaporação equivalente por dia), no 15º dia do mês correspondente, para o hemisfério Sul.

L	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0	14,5	15,0	15,2	14,7	13,9	13,4	13,5	14,2	14,9	14,9	14,6	14,3
2	14,8	15,2	15,2	14,5	13,6	13,0	13,0	14,0	14,8	15,0	14,8	14,6
4	15,0	15,3	15,1	14,3	13,3	12,7	12,8	13,7	14,7	15,1	15,0	14,9
6	15,3	15,4	15,1	14,1	13,0	12,6	12,5	13,5	14,6	15,1	15,2	15,1
8	15,6	15,6	15,0	14,0	12,7	12,0	12,2	13,2	14,5	15,2	15,4	15,4
10	15,9	15,7	15,0	13,8	12,4	11,6	11,9	13,0	14,4	15,3	15,7	15,7
12	16,1	15,8	14,9	13,5	12,0	11,2	11,5	12,7	14,2	15,3	15,8	16,0
14	16,3	15,8	14,9	13,2	11,6	10,8	11,1	12,4	14,0	15,3	16,1	16,4
16	16,5	15,9	14,8	13,0	11,3	10,4	10,8	12,1	13,8	15,3	16,1	16,4
18	16,7	15,9	14,7	12,7	10,9	10,0	10,4	11,8	13,7	15,3	16,2	16,7
20	16,7	16,0	14,5	12,4	10,6	09,6	10,0	11,5	13,5	15,3	16,2	16,8
22	16,9	16,0	14,3	12,0	10,2	09,1	09,6	11,1	13,1	15,2	16,4	17,0
24	16,9	15,9	14,1	11,7	09,8	08,6	09,1	10,7	13,1	15,1	16,5	17,1
26	17,0	15,9	13,9	11,4	09,4	08,1	08,7	10,4	12,8	15,0	16,5	17,3
28	17,1	15,8	13,7	11,1	09,0	07,8	08,3	10,0	12,6	14,9	16,6	17,5
30	17,2	15,7	13,5	10,8	08,5	07,4	07,8	09,6	12,2	14,7	16,7	17,6

Fonte: Pereira, Angelocci e Sentelhas, 2007.

A realização de todo o processamento destes cálculos através do suporte de uma ferramenta computacional torna-se algo extremamente valioso, possibilitando que o BHC possa ser utilizado com facilidade por quaisquer interessados.

Atualmente, existem alguns projetos realizados, utilizando-se do balanço hídrico para promover a economia de água. Os pesquisadores do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, Gustavo D'Angiolella e Vânia Lúcia Dias Vasconcellos (2001) apresentaram no 3º Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva no Semi-Árido, uma planilha computadorizada capaz de realizar

os cálculos do balanço hídrico climatológico, de acordo com a metodologia preconizada por Thornthwaite & Mather (1955). O trabalho é intitulado: 'Planilhas Excel para Cálculo de Balanço Hídrico Climatológico com Diferentes Metodologias para Estimativa da Evapotranspiração Potencial'. A ferramenta foi desenvolvida em ambiente EXCEL, podendo ser aplicada a um grande número de usuários, além de possibilitar a confecção de gráficos, criação e manipulação da base de dados. As planilhas possuem áreas restritas aos usuários e áreas reservadas para cálculos básicos e para a lógica da aplicação.

Os pesquisadores Silva *et al* (2016) do departamento de informática da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA em parceria com o instituto agrônomo de Campinas - SP, desenvolveram uma ferramenta intitulada "BHCalc". A ferramenta visa o cálculo do balanço de água no solo através do método de Thornthwaite e Mather (1955), de forma rápida e prática, otimizando seu uso e aquisição de resultados pelo público interessado. Esta ferramenta foi elaborada em ambiente Windows, utilizando o Microsoft Excel e contempla planilhas para o cálculo dos balanços hídricos anual-normal, sequencial e da cultura, em escalas mensal e decendial.

Ao pesquisar-se sobre ferramentas computacionais capazes de sistematizar os cálculos do balanço hídrico uma vasta gama das mesmas foi encontrada, além das citadas acima. Porém, apesar da grande diversidade, as ferramentas encontradas disponíveis foram produzidas em planilhas do Excel. As planilhas do Excel sem dúvidas são muito valiosas e eficientes, mas ainda assim não apresentam todas as vantagens que um software computacional produzido sob medida apresenta. Este sem dúvidas foi um dos maiores fatores de motivação para a proposta e a produção deste trabalho.

Entre as vantagens de se adotar um software sob medida em detrimento de uma planilha eletrônica, pode-se citar: gerenciamento de informações com eficiência - o que ocasiona ganho na produtividade, além da economia de tempo, financeira e de recursos; organização dos dados – um software adequado permite que o usuário avalie todas as informações inseridas de forma eficaz e assim possa tomar decisões mais assertivas; segurança de dados – enquanto em uma planilha os dados podem ser facilmente perdidos, em um software há uma maior preocupação com o armazenamento adequado dos mesmos (através de backups, por exemplo), permitindo-se que a informação produzida possa ser

acessada sempre que preciso. Além disso, uma planilha eletrônica quanto maior a quantidade de usuários, maiores são as chances de replicação de erros, desatualizações e compartilhamento de informações em diferentes arquivos que, muitas vezes, não possuem qualquer integração entre si (BATISTA *et al*, 2012).

Uma das situações bastante comuns na utilização de planilhas são problemas relacionados ao compartilhamento de arquivos com outros usuários e os dados serem corrompidos ao longo do caminho. Além disso, desorganização, desencontro de informações e erros também são bastante comuns.

Tais problemas podem ser minimizados ou corrigidos em sua integralidade através da utilização de um software adequado. A seguir, apresentar-se-á as etapas necessárias para o desenvolvimento de uma ferramenta computacional de qualidade.

2.4. Processo de Desenvolvimento de Software

Para se construir um software com qualidade é necessário passar por algumas etapas, conhecidas como processo de desenvolvimento. Apesar de ser apresentada em ordem cronológica, não significa que devem ser seguidas assim, podendo ficar a critério do desenvolvedor a sua alteração.

Segundo Pressman (2006), é possível definir software como um conjunto de instruções que, quando executadas, produzem a função e o desempenho desejados. Ou ainda, corresponderia a uma estrutura de dados de um problema que se quer resolver, permitindo sua manipulação e documentação adequadas, de modo a apresentar um melhor entendimento quanto a sua operação ou ao seu uso.

As etapas de desenvolvimento estão presentes na engenharia de software, uma disciplina que se ocupa de todos os aspectos de produção dos programas computacionais.

Também segundo Pressman (2006), o conceito de engenharia de software surgiu na década de 1960, como o estabelecimento e utilização de princípios sólidos de engenharia, tais como qualidade, cumprimento de prazos, organização e padronização, para que possamos obter um produto econômico, confiável e que funcione eficientemente em máquina reais.

O interesse por métodos de desenvolvimento padronizados, com o intuito de criar softwares de qualidade, já estava presente em muitas organizações. Abordagens foram definidas para identificar como a melhor produção desses aplicativos poderia ser atingida, visto que a maioria era produzida sob as regras de desenvolvimento da empresa, o que não permitia alcançar a eficiência realmente desejada. Então, com a evolução das técnicas de desenvolvimento a engenharia de software passou a ser uma área da computação que aplica tecnologias e boas práticas de gerência de projetos para especificar e desenvolver sistemas.

Na especificação são utilizados diagramas, modelos e padrões que permitem documentar os requisitos do sistema e descrever toda a estrutura do software antes de sua implementação. Com isso é possível avaliar e garantir a qualidade do produto final.

2.4.1. Etapas do desenvolvimento

As etapas do desenvolvimento de software compreendem as seguintes fases: Concepção do sistema, levantamento de requisitos, análise de requisitos, projeto, implementação, testes e implantação, conforme Figura 2.3 a seguir.

As etapas de desenvolvimento de software são definidas por muitos autores como Pressman (2006), Guedes (2006), Rumbaugh (2006), Bezerra (2007) e Larman (2007) que não apresentam um consenso absoluto sobre qual a melhor ordem ou a mais eficiente. Entretanto, pode-se distinguir atividades que com uma ou outra modificação são comuns à maioria dos processos existentes.

Nesta pesquisa serão abordadas as seguintes etapas do desenvolvimento do software: concepção do sistema, levantamento de requisitos e análise de requisitos.

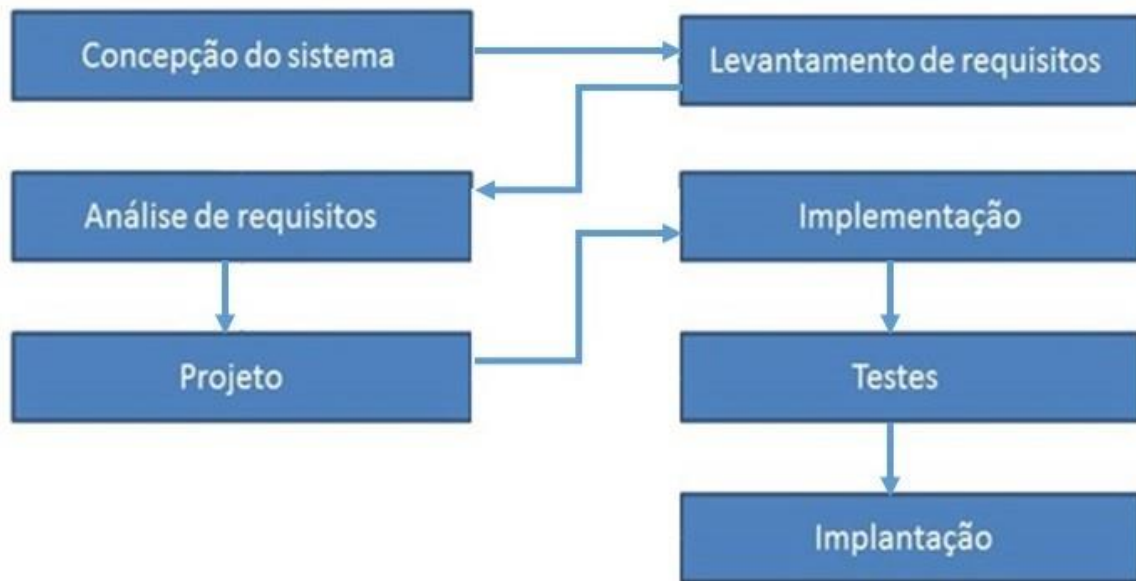


Figura 2.3. Etapas do desenvolvimento de software.
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

- **Concepção do sistema**

Segundo Pressman (2006) a maioria dos projetos começa quando uma necessidade de negócio é identificada ou um mercado ou serviço potencialmente novo é descoberto. Interessados da comunidade de negócios (por exemplo, gerentes do negócio, pessoal de marketing, gerentes de produto) definem um caso de negócio para a ideia, tentam identificar a abrangência e a profundidade do mercado, fazem uma análise de viabilidade superficial e identificam uma descrição que funciona como escopo do projeto. Todas essas informações estão sujeitas a modificações (uma ocorrência provável), mas são suficientes para dar início a discussões com a organização da engenharia de software.

Corroborando com Pressman, Filho (2003) menciona que um sistema tem a função de tratar as informações (que giram em torno da ideia de negócio) de uma forma estrutural e organizada. Ao conceber-se uma ideia que pode ser automatizada através do uso de tecnologia da informação, obtém-se a concepção do sistema, fase primordial e indispensável para que qualquer aplicação possa ganhar vida.

- **Levantamento de Requisitos**

Corresponde a etapa de compreensão do problema aplicada ao desenvolvimento de software. Segundo Pressman (2006) seu principal objetivo é que usuários e desenvolvedores tenham a mesma visão do problema a ser resolvido. Juntos tentam levantar e definir as necessidades da aplicação. Essas necessidades são geralmente denominadas requisitos. Um requisito é uma condição ou capacidade que se deve ser alcançada ou possuída por um sistema ou componente deste para satisfazer um contrato, padrão ou outros documentos formalmente impostos. (LARMAN, 2007).

Segundo Silva (2012), no levantamento de requisitos, inicia-se uma comunicação entre o analista e o usuário. É neste momento que o analista utiliza técnicas para que possa obter o conhecimento das necessidades do usuário. Com as respostas obtidas, é possível identificar quais serviços o sistema deve oferecer, quais as suas restrições, o que é esperado pelo usuário e demais informações, tal como a possibilidade de integração com outros sistemas. A Tabela 2.3 apresenta o custo médio para reparar um erro detectado na fase de levantamento de requisitos é entre US\$1 e US\$2, porém, o mesmo erro pode custar até US\$200 depois de realizada a implantação do software (Isso sem considerar o custo total do software). Os valores representam o custo para cada erro e a soma dos mesmos serão acrescidos ao valor originalmente estabelecido para a fabricação do software. Isto pode aumentar o valor final do produto de forma bastante significativa.

Tabela 2.3 – Custo médio para reparar cada erro no software em suas diferentes etapas. valor a ser acrescido ao valor inicial do software.

Étapas	Custo médio de reparação do erro (Dólar)
Levantamento de Requisitos	1-2
Projeto	5
Implementação	10
Testes	20-50
Após implantação	200

Fonte: Adaptado de Silva, 2012.

- **Análise de requisitos**

Esta fase trata das necessidades que devem ser atendidas. Sua etapa inicial consiste no estabelecimento dos requisitos do problema, fornecendo uma visão conceitual do modelo almejado. O dialogo subsequente com o usuário, o conhecimento da área e a experiência adquirida do mundo real são elementos adicionais que servem de fundamentação para a análise. O resultado é um modelo formal que captura os aspectos essenciais do sistema (RUMBAUGH, 2006).

O papel do analista de sistema é especificar quais são os requisitos do sistema do ponto de vista da eficácia, ou seja, garantir que o sistema alcance os objetivos globais previsto. Trata-se de certificar de que o sistema fará o que precisa ser feito, independentemente da instrumentação a ser utilizada para alcançar esse objetivo (POMPILHO, 2002).

- **Projeto**

Segundo explica Bezerra (2007), a fase de projeto é iniciada assim que os requisitos do software são analisados, onde ela estabelece como o sistema deve atendê-los, de acordo com os recursos tecnológicos existentes (A fase de projeto considera os aspectos físicos e dependentes de implementação). Obtêm-se então uma descrição computacional do que o software deve fazer, em coerência com a descrição feita na análise. Conforme Pressman (2006), o projeto situa-se no núcleo técnico da engenharia de software e é aplicado independentemente do modelo de processo de software usado.

Também, ainda de acordo com Pressman (2006), nem sempre é possível uma clara divisão das tarefas de análise e projeto. Alguma parte do projeto invariavelmente ocorre como parte da análise e alguma análise será conduzida durante o projeto.

- **Implementação**

Conforme Rumbaugh (2006), implementação é o estágio de desenvolvimento final, que trata os detalhes da linguagem de programação. Ela

deve ser simples e quase mecânica, pois todas as decisões difíceis já foram tomadas durante o projeto. É preciso acrescentar detalhes enquanto o código é escrito, mas cada um deverá afetar apenas uma pequena parte do programa. É durante a implementação que se vê os resultados da preparação cuidadosa desde a análise e o projeto.

Na fase de implementação é importante definir –se que tipo de linguagem será utilizada. Existem linguagem de programação interpretadas e linguagens compiladas. Para intuits de melhor desempenho e velocidade de processamento, é extremamente importante saber o que elas oferecem, afim de escolher-se as melhores opções de acordo com o desejado. Nesta fase uma ou mais linguagens de programação serão devidamente selecionadas e o projeto de software é transformado em um programa, ou unidades de programa. Aqui ocorrem testes durante toda a implementação da aplicação, afim de assegurar o seu pleno funcionamento durante o seu trajeto.

- **Testes**

O software é testado para que descubramos erros ao longo do projeto e de sua implementação, conforme esclarece Pressman (2006). Diversas atividades de teste são realizadas para verificação do sistema construído, levando-se em conta a especificação feita na fase de projeto. Uma estratégia de teste deve incorporar planejamento de teste, projeto de casos de teste, execução de teste e o relatório de testes, com informações sobre erros detectados no software (BEZERRA, 2007).

Para Filho (2003), essa etapa consiste na execução de vários projetos pilotos de teste do software, com o objetivo de testar a sua viabilidade, sua organização, seu ambiente de desenvolvimento e posteriormente a sua implantação. O autor afirma que: Após a atividade de testes, os diversos módulos do sistema são integrados, resultando finalmente no produto de software (BEZERRA, 2007).

- **Implantação**

Bezerra (2007) esclarece que na fase de implantação o sistema é empacotado, distribuído e instalado no ambiente do usuário. Os manuais do sistema são escritos, os arquivos são carregados, os dados são importados para o sistema e os usuários treinados para utiliza-lo corretamente.

Corroborando com Bezerra, Filho (2003) aborda que durante o planejamento da fase de implantação a equipe responsável deverá definir um plano de ação afim de que a implantação do sistema seja bem-sucedida e de comum acordo com todos as partes interessadas. Esse plano deve apontar os responsáveis por esta etapa, cronogramas, pontos chaves e soluções provisórias para a transição de implantação. Em alguns casos, aqui também ocorre à migração de sistemas de software e de dados preexistentes (BEZERRA, 2007).

3. METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO



Figura 3.1. Fluxograma de metodologia do desenvolvimento.
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Apresenta-se aqui toda a trajetória para a construção do estudo de caso. Será fornecida uma visão geral da pesquisa, um entendimento sobre o local, público, projeto e obtenção de dados, para que através dos mesmos possa ser realizado o estudo de caso. A figura 3.1 apresenta um pequeno fluxograma da metodologia.

3.1. Local

O estudo de caso será realizado na cidade de Teixeira de Freitas - BAHIA. Porém, o software será construído de maneira que pode ser aplicado a qualquer cidade brasileira, desde que seja possível a obtenção das variáveis climatológicas necessárias para a entrada de dados no programa, bem como a latitude local.

3.2. Público

O programa será desenvolvido para que seja utilizado principalmente por estudiosos das áreas de agricultura, climatologia ou hidrologia, bem como, agricultores, engenheiros florestais, entre outros.

No entanto, o software será construído de maneira que seja de fácil utilização, permitindo que qualquer interessado no assunto possa utilizá-lo sem transtornos, desde que possua os conhecimentos necessários para entrada e compreensão dos dados e o equipamento computacional adequado – um computador com sistema operacional.

3.3. Etapas do projeto

Conforme visto anteriormente, as etapas do desenvolvimento de software compreendem as seguintes fases: Concepção do sistema, levantamento de requisitos, análise de requisitos, projeto, implementação, testes e implantação. Com base nisso, elaborou-se um plano de desenvolvimento que viabilize a proposta computacional através das etapas de concepção do sistema, levantamento de requisitos e análise de requisitos, objeto de estudo deste trabalho.

Foi realizado um estudo acerca do balanço hídrico e as suas contribuições para o desenvolvimento sustentável, bem como acerca das equações matemáticas necessárias para realização dos cálculos propostos. Todas as equações foram realizadas primeiramente a próprio punho, e comparadas aos resultados de estudos já realizados por outros autores, afim de ter certeza de que cada parte do cálculo foi bem compreendida.

Após a total compreensão dos métodos matemáticos propostos por Thornthwaite e Matter (1955), e Camargo (1971), partiu-se para o estudo das técnicas de levantamento e análise de requisitos a serem utilizadas na confecção da proposta computacional. Será elaborada uma documentação com os requisitos do software e a modelagem necessária para assegurar a total compreensão do problema, bem como possíveis manutenções futuras.

Realizados os procedimentos iniciais, utilizam-se os processos de engenharia de software para assegurar a qualidade do método computacional.

3.4. Visão geral da pesquisa

O tipo de pesquisa apresentada aqui é de caráter qualitativo e a abordagem a ser utilizada para os cálculos do balanço hídrico mensal é a de

Thornthwaite e Mather (1955). Para a realização dos cálculos do balanço hídrico diário, utilizou-se o método proposto por Camargo (1971).

3.4.1. Obtenção dos dados meteorológicos

Para realizar o estudo do balanço hídrico, são necessários os dados iniciais de latitude da cidade e os valores das variáveis meteorológicas de temperatura média mensal do ar mensal e precipitação mensal. Estes dados meteorológicos foram obtidos no endereço <http://www.climatempo.com.br> os quais são apresentados na Tabela 3.1. Estes valores são médias climatológicas calculadas a partir de uma série de 30 anos de dados observados. Com isto, podem-se obter informações sobre as épocas mais chuvosas/secas e quentes/frias na localidade correspondente.

Além disso, séries temporais mais longas possibilitam análises mais precisas da variação temporal e espacial dos processos hidrológicos (CUNHA *et al.* 2011). Neste caso obtém-se um balanço hídrico climatológico médio anual. Caso se queira realizar o balanço hídrico do ano em curso, no lugar de utilizar as normais climatológicas, devem-se utilizar as variáveis do referido período.

Realizou-se o Balanço Hídrico Mensal, calculado para todos os meses do ano, e o Balanço Hídrico Diário, Calculado para um intervalo de 10 dias – dia 1 ao dia 10 do mês de julho de 2016.

O Balanço hídrico mensal será iniciado em janeiro e foi considerado um CAD de 100 mm e um valor inicial de armazenamento de água no solo de 100mm. Para o balanço hídrico diário também será considerado um valor de CAD de 100mm, mas o armazenamento de água no solo será considerado 50mm como ponto de partida.

A tabela 3.1 fornece dados de temperatura mínima (°C) – Temp. Min. (°C), Temperatura Máxima (°C) - Temp. Máx. (°C) e Precipitação (mm) para os meses de janeiro a dezembro de uma média histórica para um período de 30 anos – 1986-2015.

Tabela 3.1 – Variáveis meteorológicas de temperatura mínima e máxima do ar e precipitação para Teixeira de Freitas, mensal. Média histórica para um período de 30 anos – 1986-2015.

Mês	Temp. Min. (°C)	Temp. (Máx. °C)	Temp. Média (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	22	29	25.5	135
Fevereiro	22	30	26.0	91
Março	22	29	25.5	141
Abril	22	28	25.0	124
Mai	21	27	24.0	89
Junho	19	25	22.0	69
Julho	18	25	21.5	80
Agosto	19	25	22.0	61
Setembro	20	26	23.0	81
Outubro	21	28	24.5	118
Novembro	22	28	25.0	183
Dezembro	22	27	25.5	154

Fonte: Adaptado de Climatempo.

A Tabela 3.2 fornece dados de temperatura mínima (°C) – Temp. Min. (°C), Temperatura Máxima (°C) - Temp. Máx. (°C) e Precipitação (mm) para os 10 primeiros dias do mês de julho de 2016.

Na maioria das vezes só se encontra estimativas das temperaturas máximas e mínimas. Assim para obter a temperatura média o sistema deverá obter a temperatura média, através do cálculo da média entre a temperatura mínima e máxima de cada mês. Ou seja: (Temperatura min. + Temperatura máx.) /2. A latitude da cidade tem o valor de 17° Sul e encontra-se em: <http://www.geografos.com.br/cidades-bahia/teixeira-de-freitas.php>. Para o caso de uma localidade qualquer esta coordenada de latitude pode ser obtida por meio de um GPS, ou mesmo através de aplicativos de celulares.

Tabela 3.2 – Variáveis meteorológicas de temperatura mínima e máxima do ar e precipitação para Teixeira de Freitas, diário para o mês de julho, 2016.

Dias	Temp. Min. (°C)	Temp. Máx. (°C)	Temp. Média (°C)	Precipitação (mm)
1	23	26	24.5	00
2	21	26	23.5	00
3	19	25	22.0	04
4	20	26	23.0	04
5	20	26	23.0	04
6	18	28	23.0	02
7	18	28	23.0	00
8	21	24	22.5	00
9	19	24	21.5	00
10	20	24	22.0	00

Fonte: Adaptado de Climatempo, 2016.

- Cálculo da primeira linha:

Para exemplificar o cálculo das equações, realizar-se-ão os cálculos relativos ao mês de janeiro (primeira linha da tabela do balanço hídrico mensal). Dados os valores iniciais: precipitação do mês (P): 135.00, temperatura média do mês (TMédia): 25.50, e Fator de Correção (K) – que varia de acordo com a latitude, para o mês de janeiro: 01.12. Realizam-se:

- Cálculo do índice térmico – I_i :

$$I_i = (T_i / 5)^{1,5}$$

$$I_i = (25.50/5)^{1,5}$$

$$I_i = 11.52 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Onde:

I = Índice térmico em $^\circ\text{C}$;

T = Temperatura média do local em $^\circ\text{C}$.

- Cálculo do Coeficiente “a”:

$$a = (0,49239 + 1792 \cdot 10^{-5} \cdot I - 771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2 + 675 \cdot 10^{-9} \cdot I^3)$$

$$a = (0,49239 + 1792 \cdot 10^{-5} \cdot 11.52 - 771 \cdot 10^{-7} \cdot 11.52^2 + 675 \cdot 10^{-9} \cdot 11.52^3)$$

$$a = 0.69$$

- Cálculo da Evapotranspiração – ET:

$$ET = 16 \cdot (10 \cdot T / I)^a;$$

$$ET = 16 \cdot (10 \cdot 25.50 / 11.52)^{0.68};$$

$$ET = 135.4 \text{ mm.}$$

Onde:

ET = Evapotranspiração em mm;

T = Temperatura média do local em °C;

I = Índice Térmico em °C.

- Cálculo da Evapotranspiração Potencial:

$$ETP = (ET \cdot COR)$$

$$ETP = 131,456 \cdot 0,12$$

$$ETP = 151.6 \text{ mm}$$

Onde:

ETP = Evapotranspiração potencial em mm.

ET = Evapotranspiração em mm;

COR = Fator de correção sem unidade de medida.

- Cálculo da diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial:

Dá-se através da subtração entre a precipitação (P) e a evapotranspiração potencial (ETP). Neste momento não se leva em consideração o valor de CAD. Quando $P - ETP$ for negativo, significa que esta quantidade de água deverá ser fornecida ao solo através do processo de irrigação.

$$P - ETP = 135.00 - 151.59$$

$$P - ETP = -16.7 \text{ mm}$$

Onde:

P = Precipitação em mm;

ETP = Evapotranspiração potencial em mm;

➤ Negativo Acumulado – NEG ACUM:

Representa a somática dos respectivos valores negativos para P – ETP.

NEG ACUM para o primeiro mês: -16.7 mm

➤ Cálculo do armazenamento hídrico – ARM:

$$\text{ARM} = \text{CAD} * \exp [\text{NEG ACUM} / \text{CAD}]$$

$$\text{ARM} = 100 * \exp [-016.5 / 100]$$

$$\text{ARM} = 84.7 \text{ mm}$$

Onde:

ARM = Armazenamento hídrico em mm;

CAD = Capacidade de água disponível em mm.

➤ Cálculo da evapotranspiração real – ER:

Se P-ETP for positivo, a evapotranspiração real – ER será igual a evapotranspiração potencial – ETP (Será evapotranspirado realmente todo o potencial previsto para que a evapotranspiração possa ocorrer).

Se ALT (Alteração no armazenamento) for negativa, a evapotranspiração real – ER será é igual à precipitação (Uma vez que este será o limite máximo de água contida no solo) + |ALT| (o módulo da alteração no armazenamento).

No caso do mês de janeiro o valor de P-ETP é negativo (-16.6). Assim, a evapotranspiração que realmente irá ocorrer é limitada pela quantidade de água que entrou no solo + 0 (Alteração no armazenamento – ALT), ou seja, seu valor é igual ao de precipitação: 135.0 mm.

Onde:

P = Precipitação em mm;
 ER = Evapotranspiração real em mm;
 ETP = Evapotranspiração potencial em mm;
 ALT = Alteração no armazenamento em mm.

➤ Cálculo da deficiência hídrica – DEF:

$$\text{DEF} = \text{ETP} - \text{ER}$$

$$\text{DEF} = 151.6 - 135.0$$

$$\text{DEF} = 16.6 \text{ mm}$$

Onde:

DEF = Deficiência hídrica em mm;
 ETP = Evapotranspiração potencial em mm;
 ER = Evapotranspiração real em mm.

➤ Cálculo do excedente hídrico – EXC:

$$\text{EXC} = 0.0 \text{ Quando } \text{ARM} < \text{CAD}$$

$$\text{EXC} = (\text{P} - \text{ETP}) - \text{ALT} \text{ Quando } \text{ARM} = \text{CAD}$$

Onde:

EXC = Excedente hídrico em mm;
 ARM = Armazenamento hídrico em mm;
 CAD = Capacidade de água disponível em mm;
 P = Precipitação em mm;
 ETP = Evapotranspiração potencial em mm;
 ALT = Alteração no armazenamento em mm.

Neste caso, para o CAD com valor equivalente a 100 mm, o excedente hídrico será igual a 0.0 mm.

Para o desenvolvimento do sistema serão considerados os seguintes critérios:

- O valor do CAD será uma entrada do sistema, ou seja, o usuário poderá definir este valor para que atenda as melhores condições do local em estudo;
- O sistema irá solicitar uma estimativa da capacidade atual de armazenamento de água a qual deverá ser no máximo igual ao CAD;
- Para inserir os dados de temperatura e precipitação serão consideradas duas opções: entrada de dados diários ou entrada de dados médios/acumulados mensais.
- O sistema irá permitir que o usuário escolha entrar com a temperatura média ou as temperaturas máximas e mínimas de cada dia e posteriormente procedendo o cálculo da média para o período considerado.
- O sistema solicitará ao usuário a latitude do local de interesse do estudo, esta latitude deverá ser em graus;
- Será permitido realizar o balanço hídrico diário ou mensal conforme interesse do estudo;
- Como saída do balanço hídrico os dados serão disponibilizados em formato de tabela e de gráficos;
- Será permitido que o usuário cadastre vários balanços hídricos, ou seja será permitido que o usuário possa realizar balanço hídrico para vários locais ou condições de diferentes;
- Será possível o usuário iniciar o balanço hídrico em qualquer mês do ano, neste caso o usuário deverá fornecer o CAD considerado e uma estimativa de armazenamento de água no solo para o momento de início do balanço hídrico, o qual deverá ser no máximo igual ao CAD.
- Será permitido produzir o balanço hídrico sequencial, ou seja, caso o usuário queira continuar a executar o balanço hídrico após o último dia do ano isto lhe será permitido, porém os resultados serão disponibilizados de forma a visualizar os últimos 12 meses do balanço,
- Será permitido que o usuário imprima, ou salve, os relatórios de dados sempre que lhe for conveniente em formato de tabelas e gráficos;

Serão realizadas as seguintes etapas para o desenvolvimento de software: concepção do sistema, levantamento de requisitos e análise de requisitos.

O código será implementado em linguagem de programação PHP e C++ para construir a biblioteca dinâmica, contendo as principais funções que farão o processamento do programa para estabelecimento do balanço hídrico climatológico. A linguagem python é utilizada para interagir com o C++ por realizar a chamada da biblioteca dinâmica, que neste contexto também funciona como uma biblioteca dinâmica. O usuário, portanto, não necessita entender como foi desenvolvida a biblioteca, e sim apenas realizar as chamadas de função através do PHP. A saída de dados, dar-se-á através de tabelas e gráficos. Serão apresentados os gráficos de armazenamento hídrico e o gráfico da diferença entre a precipitação e a evapotranspiração real (Déficit e excesso).

Será realizado o estudo de caso na cidade de Teixeira de Freitas, Bahia. Serão coletadas todas as informações relativas as variáveis climatológicas necessárias, assim como a latitude do local, com dados provenientes da estação meteorológica localizada no município, para um período de 12 meses (balanço mensal) e para um período de 30 dias consecutivos (balanço diário).

Dados os valores iniciais, tem-se o suficiente para estabelecer a estimativa do balanço hídrico climatológico.

3.5. Sistema computacional para automatização do balanço hídrico

Apresentar-se-á a seguir, algumas das etapas de desenvolvimento de software a serem seguidas para que a aplicação realize o processo de obtenção do balanço hídrico climatológico e demais gráficos, a partir de variáveis meteorológicas que alimentarão o sistema.

3.5.1. Concepção do sistema

O balanço hídrico permite o planejamento e a utilização dos recursos hídricos de modo eficiência e sustentável. Utilizar o BH no planejamento e utilização dos recursos hídricos no meio agrícola, associado ao entendimento e compreensão das necessidades do cultivo, pode ser uma alternativa

extremamente valiosa no estabelecimento de estratégias para utilizar de forma sustentável e eficiente as reservas de água do solo.

Ao ser aplicado em determinada área, o balanço hídrico pode aumentar a eficiência do uso da água destinada a irrigação de culturas agrícolas, uma vez que se torna possível conhecer a quantidade exata de déficit hídrico no solo. Dessa forma, diminui-se o custo com o processo de irrigação, abastecendo-se o solo com a quantidade de água necessária para o manejo do cultivo quando a precipitação se faz ausente. O balanço hídrico também pode ser aplicado em diversas outras áreas, como visto anteriormente, tais como a classificação climática, a previsão de rendimentos e o planejamento em diversas áreas de atuação, sejam eles na agricultura, turismo, planejamento urbano, conforto térmico, construção de barragem, estradas e várias outros envolvendo o manejo e manutenção dos recursos hídricos, inclusive na produção de alimentos.

Entretanto, efetuar a contabilidade hídrica no solo envolve a utilização de uma grande quantidade de cálculos e conceitos matemáticos, conforme já visto anteriormente. Nesse contexto, a apresentação de um modelo computacional que possa automatizar este processo, configurando maior segurança e confiabilidade nos resultados pode ser um grande marco na adesão do BH por parte dos agricultores e demais estudiosos da área.

A partir dos fatos constatados, concebeu-se a ideia da criação de uma ferramenta computacional BHC – Balanço Hídrico Climatológico, com o intuito de ser uma ferramenta fundamental no planejamento dos recursos hídricos tanto para o manejo agrícola quanto para demais áreas afins.

3.5.2. Levantamento de requisitos

Os estabelecimentos dos requisitos do sistema são fundamentais para que haja total compreensão do mesmo. A Tabela 4.3 a seguir lista os principais requisitos necessários para o funcionamento e o fluxo de dados do sistema.

➤ Requisitos de hardware

Estabelecem-se os requisitos mínimos e os requisitos desejáveis para um perfeito funcionamento do sistema, de modo que o mesmo possa operar em sua máxima eficácia. A Tabela 4.4 apresenta os requisitos de hardware do sistema.

Tabela 3.3 – Requisitos gerais do sistema.

SEQUÊNCIA	REQUISITOS DO SISTEMA
R01	O sistema deverá ter um banco de dados.
R02	O sistema deve ser capaz de gerar gráficos
R03	O sistema deve ter uma interface gráfica intuitiva.
R04	O sistema deve perguntar ao usuário que tipo de balanço hídrico ele deseja realizar - Diário, Decendial ou Mensal, bem como o período desejado para ambos. Opção BH diário: Caso o usuário escolha a opção diário o usuário deverá pergunta-lo novamente se ele irá inserir apenas o dado de um dia, de 10 dias ou de 30 dias. Opção BH decendial: Nesta opção o usuário irá inserir apenas um valor para temperatura e um valor para precipitação, ou seja, a média de dez dias, ou o valor referente a cada dia para que o sistema calcule a média. Opção BH mensal: Na opção mensal o usuário irá inserir a média da temperatura e da precipitação para cada mês do ano (de janeiro a dezembro) ou os dados diários para que o sistema obtenha a média.
R05	Após selecionado a modalidade de BH o usuário deverá selecionar estado e a cidade desejados. Ao seleciona-los, o sistema automaticamente determinará se a latitude é Sul, Norte ou linha do equador.
R06	O usuário poderá escolher se deseja verificar o balanço de acordo com os dados previamente contidos no banco de dados do sistema ou se deseja inserir os seus próprios valores. Caso esta opção seja escolhida, o usuário deverá fornecer os dados de latitude, precipitação e temperatura diários, mensais ou descendais.
R07	Na opção Mensal, o usuário deverá ser capaz de obter o balanço mesmo que não tenha os dados relativos a cada mês do ano vigente. Por exemplo, caso o usuário esteja no mês de setembro, ele poderá inserir os dados relativos aos meses de janeiro a setembro e o programa recutar-se-á ao banco de dados para inserir no balanço os dados relativos aos meses do ano anterior, inserir ao balanço os dados de outubro, novembro e dezembro do mês anterior.
R08	Caso o usuário digite algum valor muito discrepante do valor inserido anteriormente o programa deve acusar. Por exemplo, no mês de janeiro a temperatura foi de 22 graus. Caso em fevereiro o usuário insira um valor com diferença maior que 10° o programa deve perguntar se o valor está correto.
R09	Caso o usuário digite algum valor errado, o programa deve fornecer a ele a possibilidade de continuar de onde parou, sem que o usuário precise digitar todos os dados novamente.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Caso o usuário deseje utilizar o sistema com hardware inferior, o mesmo poderá não funcionar ou funcionar de modo inadequado (parcialmente).

➤ Requisitos de software

Estabelecem-se os softwares mínimos e recomendáveis necessários para a utilização do sistema. A Tabela 4.5 apresenta os requisitos de software do sistema.

Tabela 3.4 – Requisitos de hardware do sistema.

Componente	Mínimo	Recomendado
Processador	1,5 giga-hertz (GHz)	Processadores duplos, cada um deles de 2,5 GHz ou mais rápido
RAM	1 gigabyte (GB)	2 GB
Disco	Partição formatada para sistema de arquivos NTFS com um mínimo de 3 GB de espaço livre	Partição formatada para sistema de arquivos NTFS com 3 GB de espaço livre, além de espaço livre suficiente para a manipulação web.
Unidade	----	Impressora
Exibir	1024 x 768	Monitor de 1024 x 768 ou resolução superior
Rede - Requer acesso à Internet (a cobrança de taxas poderá ser aplicável).	Conexão de 75 kilobits por segundo (Kbps)	Conexão de 125 Kbps ou mais rápida.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Tabela 3.5 – Requisitos de software do sistema.

Software	Mínimo	Recomendado
Sistema Operacional	Windows 7	Windows 7 ou superior
Navegador de internet	Internet Explorer 8	Internet Explorer 10 ou versão superior.
Leitor de Arquivo em PDF	Adobe Acrobat Reader versão 2015.	Versão atualizada do Adobe Acrobat Reader.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

3.5.3. Análise de requisitos

Afim de realizar-se a análise de requisitos, produziu-se um diagrama de fluxo de dados que tem por objetivo apresentar a forma como os dados devem fluir no sistema e suas respectivas interações. Esta ação permite que possíveis erros estruturais sejam facilmente detectados e que os requisitos sejam analisados de modo mais claro, permitindo uma visão mais ampliada do sistema. A Figura 4.5 apresenta o diagrama de fluxo de dados para o método computacional BHC. A mesma imagem poderá ser visualizada de maneira ampliada no apêndice ao final deste trabalho.

O diagrama de fluxo de dados apresenta os dois usuários do sistema, o usuário comum e o administrador. O usuário comum entra com o período pretendido para realização do BHC e a cidade e estado brasileiros. Com estas informações o sistema já está apto à realização dos cálculos. O administrador pode fazer tudo o que um usuário comum pode fazer e além disso ele também

alimenta o sistema com informações. Ele informará ao sistema as latitudes para cada cidade brasileiras, bem como dados de temperatura diária e precipitação diária.

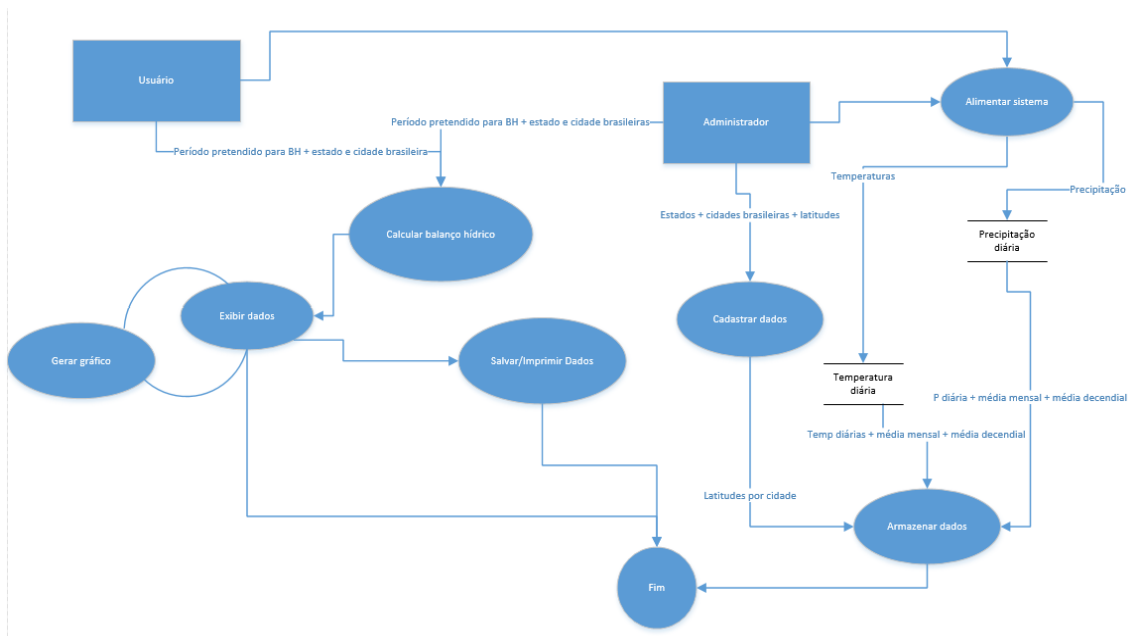


Figura 3.2. Diagrama de fluxo de dados sistema BHC.
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Após o processamento de dados, a tabela do BHC aparece na tela do sistema com opções de gerar 2 tipos de gráficos. Caso o usuário deseje visualiza-los ele irá escolher o gráfico desejado e o mesmo será exibido na tela. O usuário tem ainda a opção de imprimir ou salvar tanto a tabela quanto os gráficos do BHC.

3.5.4. Projeto

Após a análise de dados, o projeto apresenta a interação entre os estados do software.

- Arquitetura de processamento de dados

Construiu-se um diagrama de processamento de dados simplificado do sistema BHC, para destacar as principais mudanças de estado do programa.

O sistema será implementado utilizando técnicas de API. Para ilustrar esse processo a Figura 4.6 destaca a transição entre linguagens. Inicialmente a aplicação solicita ao usuário através da interface em PHP os dados iniciais (Latitude, Temperatura média mensal e Precipitação mensal) e recebe-os. A partir de então, o PHP transmite os dados de entrada ao Python, onde aloca-se espaços na memória destinados às variáveis do sistema, e é chamada a API, desenvolvida em C++. Ao fazer isso, a interface fornece vetores, que serão utilizados pelo C++ para manipular os principais cálculos do sistema, obtendo os resultados pretendidos. Ao retornar ao Python, os dados são atualizados e o restante dos valores é preenchido. Os resultados são exibidos na tela através do PHP ao usuário. Neste contexto o C++, irá rodar por baixo do código Python, aumentando a complexidade da programação do sistema.

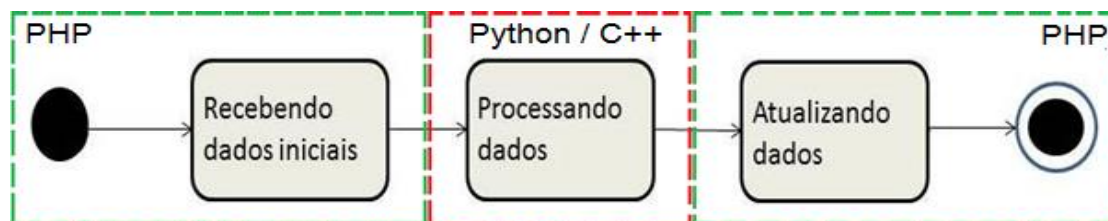


Figura 3.3. Arquitetura de processamento de dados do sistema BHC.
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

3.5.5. Implementação

Utilizou-se a linguagem de programação C++ para construir a biblioteca dinâmica, contendo as principais funções que farão o processamento do programa para estabelecimento do balanço hídrico climatológico. A linguagem python é utilizada para interagir com o C++ por realizar a chamada da biblioteca dinâmica, que neste contexto também funciona como uma API. O usuário, portanto, não necessita entender como foi desenvolvida a API, e sim apenas realizar as chamadas de função através do python. O PHP foi escolhido para

que o sistema possa rodar através de sites da internet, conferindo ao software uma maior portabilidade

Utilizar a linguagem C++ como API, possibilitou o desenvolvimento de “módulos” em C++ que foram importados para Python. Através do comando “ctypes” é possível carregar qualquer biblioteca dinâmica escrita em C++ em uma interface python e discretamente, chamar funções. O trecho de código abaixo exemplifica esta situação:

```

1.     #Arquivo InterfaceBHC.py
2.     #Projeto BHC
3.
4.     #ctypes permite chamar funcoes em DLLs / bibliotecas compartilhadas
5.     from ctypes import *
6.     from tkinter import Tk, StringVar, ttk
7.
8.     Gilmara_Dll = cdll.LoadLibrary ('C:\Users\Mara\Documents\ Projeto\_tcc\Souces
\CodigoBHC\dist\Debug\Cygwin-Windows\ libCodigoBHC.dll')
9.
10.    # C++ Declarations
11.    DOUBLE = c_double
12.    _c_double = POINTER(DOUBLE)
13.
14.    class Application:
15.
16.        def __init__(self, parent):
17.            self.parent = parent
18.            self.combo()
19.        def combo(self):
20.            self.box_value = StringVar()
21.            self.box = ttk.Combobox(self.parent, textvariable=self.box_value, state='readonly')
22.            self.box['values'] = ('Selecione', 'Balanço Hídrico Diário', 'Balanço Hídrico Decendial',
23.                                  'Balanço Hídrico Mensal')
24.            self.box.current(0)
25.            self.box.grid(column=0, row=0)
26.
27.    if __name__ == '__main__':
28.        root = Tk()
29.        app = Application(root)
30.        root.mainloop()

```

Dessa forma, a implementação do programa tornou-se muito mais eficiente quanto ao desempenho, elegante e o código estará muito mais seguro e encapsulado.

3.5.6. Testes

Foram executados testes em todas as etapas do desenvolvimento do método, desde seu início ao fim. Durante a etapa de compreensão dos cálculos do balanço hídrico climatológico também foram executados diversos testes, tanto em caneta e papel quanto com o auxílio de ferramentas como calculadores e planilhas do Excel.

A ferramenta deverá funcionar através das páginas da internet e dessa forma não necessita instalação local no computador. O usuário deverá navegar através do endereço web do sistema.

4. RESULTADOS E DISCURSÃO

Todos os cálculos neste primeiro momento foram realizados a próprio punho, para que seja estabelecida uma familiaridade maior com a formulação de Thornthwaite e Mather (1955) e Camargo (1971).

Muitas pessoas realizam os cálculos do BHC de próprio punho ou em planilhas eletrônicas. Esta é uma maneira que está sujeita a falhas. No decorrer desta pesquisa será desenvolvida uma ferramenta que se utiliza dos recursos tecnológicos de modo eficaz para facilitar a realização deste processo.

Realizando-se todos os cálculos explicados anteriormente para todos dos meses do ano, a Tabela 4.1 apresenta todos os dados para se estimar o balanço hídrico climatológico relativo a cidade de Teixeira de Freitas, mensalmente. A saber, os seguintes valores mensais:

A Tabela 4.2 apresenta todos os dados para se estimar o balanço hídrico climatológico relativo a cidade de Teixeira de Freitas, diário. A saber, os seguintes valores diários: T - temperatura média, ET – Evapotranspiração sem correção diária, COR - fator de correção COR, ETP - evapotranspiração potencial, P - precipitação, NEG ACUM – Negativa Acumulado, ARM – Armazenamento Hídrico, ALT – Alteração do Armazenamento, ER - evapotranspiração real, DEF – Deficiente Hídrico e EXC – Excedente Hídrico.

Para desenvolver o balanço diário, uma pequena correção deve ser feita quanto ao valor de evapotranspiração, visto que a formulação de Thornthwaite estabelece-se apenas para uma série de dados mensal. Para o balanço diário, utilizou-se a formulação de Camargo (1971), conforme mostrado anteriormente. A descrição a seguir exemplifica como o cálculo é realizado:

Temperatura média do ar no dia 1 = 24,5 °C

Latitude de 17° S - Pela Tabela 2.2

$Q_0 = 10,6$ mm/dia para a cidade de Teixeira de Freitas.

$ETP = 0,01 * Q_0 * T * ND$

$ETP = 0,01 * 10,6 * 24,5 * 1$

$ETP = 2,59$ mm.d⁻¹

Tabela 4.1 – Balanço hídrico mensal para Teixeira de Freitas, segundo formulação de Thornthwaite e Mather (1955). Média histórica para um período de 30 anos: 1986 - 2016. CAD = 100 mm = ARM máximo.

M	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
T (°C)	25.50	26.00	25.50	25.00	24.00	22.00	21.50	22.00	23.00	24.50	25.00	25.50
ET (mm)	135,4	136,8	135,4	134,0	131,3	126,3	125,2	126,3	128,8	132,6	134,0	135,4
COR	01.00	00.90	01.00	00.90	00.90	00.90	00.90	01.00	01.00	01.00	01.00	01.10
ETP (mm)	151.6	134.1	142.2	131.3	128.7	118.8	121.4	126.4	128.8	141.9	143.4	151.6
P (mm)	135.0	091.0	141.0	124.0	089.0	069.0	080.0	061.0	081.0	118.0	183.0	154.0
P – ETP (mm)	-16.60	-43.10	-01.20	-07.30	-39.70	-49.80	-41.40	-65.30	-47.80	-23.90	39.50	02.30
NEG ACUM (mm)	-016.6	-059.6	-061,0	-068.3	-107.9	-157.9	-199.4	-264.8	-312.6	-336.5	-296.9	-294.6
ARM (mm)	84.60	54.90	54.30	50.40	33.90	20.60	13.60	07.00	04.30	03.40	05.10	05.20
ALT (mm)	00.00	-29.60	-00.60	-03.80	-16.50	-13.30	-07.00	-06.50	-02.60	-00.90	01.60	00.10
ER (mm)	135.0	120.6	141.6	127.8	105.4	082.3	087.0	067.5	083.6	118,9	143,4	151,6
DEF (mm)	16.60	13.40	00.50	03.50	23.10	36.50	34.40	58.80	45.10	23.00	00.00	00.00
EXC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Tabela 4.2 – Balanço hídrico diário para Teixeira de Freitas, segundo formulação de Thornthwaite e Mather (1955), considerando os 10 primeiros dias do mês de julho de 2016. CAD = 100 mm = ARM máximo.

MÊS	T (°C)	Qo	ETP (mm)	P (mm)	P – ETP (mm)	NEG ACUM (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ER (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
1	24.5	10.6	2.50	0.00	-2.50	-02.5	97.4	0.00	0.00	2.60	0.00
2	23.5	10.6	2.40	0.00	-2.40	-05.0	95.0	-2.40	2.40	0.00	0.00
3	22.0	10.6	2.30	4.00	1.60	-03.4	96.6	1.60	2.30	0.00	0.00
4	23.0	10.6	2.40	4.00	1.50	-01.8	98.1	1.50	2.40	0.00	0.00
5	23.0	10.6	2.40	4.00	1.50	-00.2	99.7	1.50	2.40	0.00	0.00
6	23.0	10.6	2.40	2.00	-0.40	-00.7	99.2	-0.40	2.40	0.00	0.00
7	23.0	10.6	2.40	0.00	-2.40	-03.1	96.8	-2.30	2.30	0.00	0.00
8	22.5	10.6	2.30	0.00	-2.30	-05.5	94.5	-2.20	2.20	0.10	0.00
9	21.5	10.6	2.20	0.00	-2.20	-07.8	92.4	-2.10	2.10	0.10	0.00
10	22.0	10.6	02.3	00.0	-2.30	-10.1	90.3	-2.10	2.10	0.20	0.00

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

4.1. Análise dos resultados

A seguir serão analisados os resultados do estudo de caso aplicado à cidade de Teixeira de Freitas no extremo sul da Bahia. Analisar-se-á tanto os resultados mensais quanto diários, de acordo com as Figuras 4.1 a 4.4.

4.1.1. Balanço Hídrico Mensal

A Figura 4.1 apresenta o gráfico de barra e linhas que tem por objetivo comparar a precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP) e a evapotranspiração real (ETR) de acordo com os dados fornecidos pela Tabela 4.1. A porção do curso em que a coluna de P excedeu a linha de ETP, definiu-se como um período de reposição de água ao solo (mês de novembro).

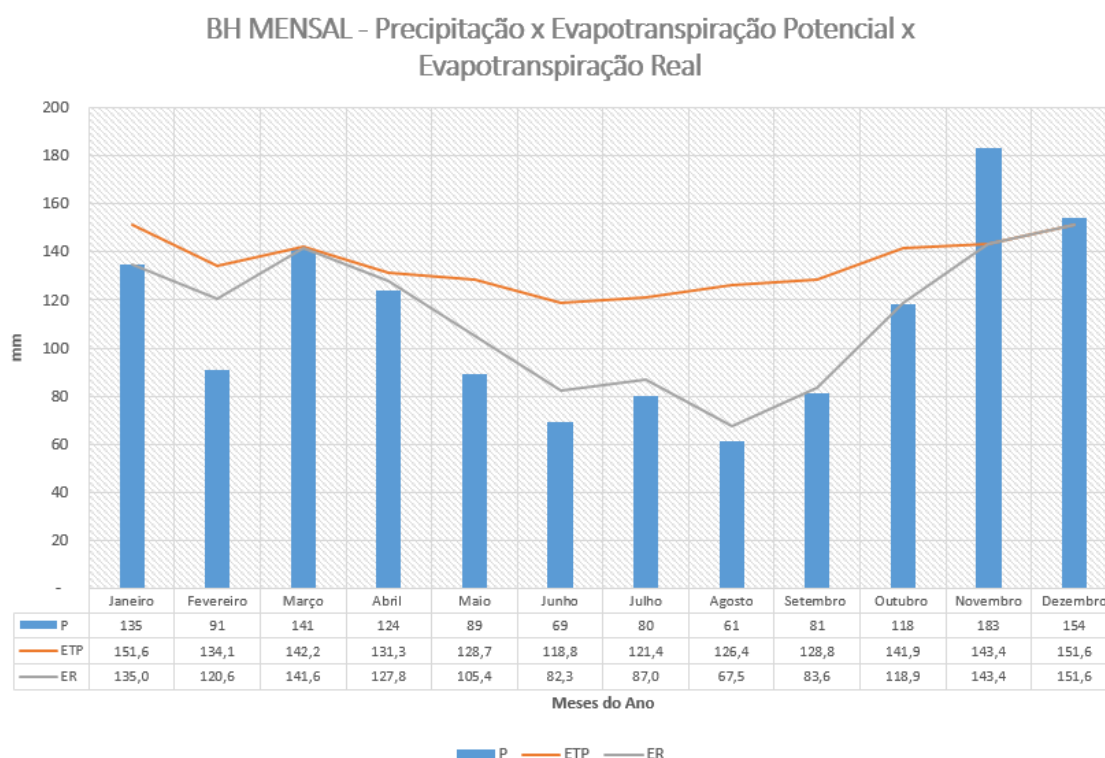


Figura 4.1. Balanço Hídrico Mensal – Precipitação versus evapotranspiração potencial versus evapotranspiração real. Média histórica para um período de 30 anos – 1986-2016. CAD = 100 mm = ARM máximo.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Observa-se que os meses de janeiro a abril e outubro a dezembro são os meses em que há maior ocorrência de precipitações, a Figura 4.1 mostra isso com clareza. O mês de novembro destacou-se por ser o mês com a maior ocorrência. A média mensal de pluviosidade é de 111 mm. Nos meses citados, os valores de temperatura média também foram maiores e conseqüentemente a evapotranspiração potencial. Assim, conclui-se que, os meses em que houve

maior abastecimento do solo através da precipitação, também houve maior perda hídrica através da evapotranspiração potencial.

A evapotranspiração real apresentou-se idêntica à evapotranspiração potencial nos meses de novembro e dezembro. Diferenciou-se levemente da ETP nos meses de março e abril, e apresentou uma diferença considerável nos demais meses do ano - a saber, janeiro, fevereiro, maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro.

Ao se considerar-se a evapotranspiração mensal, é possível verificar claramente a relação dos períodos quentes com maiores taxas de evapotranspiração e os frios com taxas menores.

Considerando-se um CAD – capacidade de armazenamento de água, de 100 mm como valor base para um armazenamento máximo, considera-se excedente hídrico uma situação em que o armazenamento de água seja maior do que 100 mm. Em nenhum dos meses estudados verificou-se uma parcela hídrica acima de 100 mm, assim, não houve excedente hídrico entre os meses relacionados. Verifica-se que nos meses de janeiro, abril e dezembro as chuvas foram suficientes apenas para que o déficit fosse zerado.

Na Figura 4.2 tem-se a comparação gráfica entre a deficiência e o excedente hídrico. Verificou-se uma maior parcela deficitária entre os meses de junho a outubro. O mês que apresentou maior déficit hídrico foi o mês de setembro, seguido por outubro.

O método do balanço hídrico climatológico mostrou-se válido, à medida que possibilitou a identificação dos períodos com deficiências e excedentes hídricos na cidade de Teixeira de Freitas.

4.1.2. Balanço Hídrico Diário

A Figura 4.3 apresenta o gráfico de barra e linhas que tem por objetivo comparar a precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP) e a evapotranspiração real (ETR) de acordo com os dados fornecidos pela tabela 4.2. A porção do curso em que a coluna de P excedeu a linha de ETP, definiu-se como um período de reposição de água ao solo (dias 3, 4 e 5).

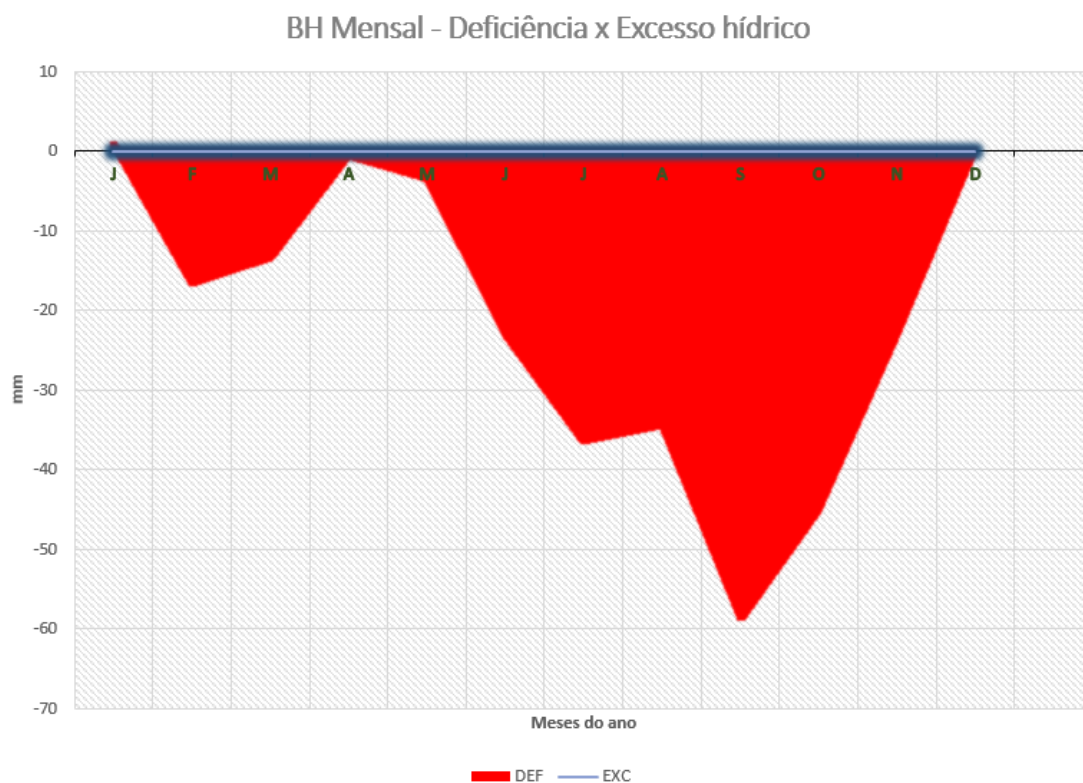


Figura 4.2. Balanço Hídrico Mensal – Deficiência versus excedente hídrico. Média histórica para um período de 30 anos – 1986-2016. CAD = 100 mm = ARM máximo.
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Observa-se que os dias 3, 4 e 5 são os dias em que há maior ocorrência de precipitações, a Figura 4.3 demonstra isso com clareza, sendo o valor da parcela de precipitação depositada em ambos, idênticas entre si. No dia 6 houve abastecimento de água no solo através da precipitação em uma parcela menor do que os referidos anteriormente. Nos dias 1, 2, 7, 8, 9 e dez não houve abastecimento hídrico.

A média decenal de pluviosidade para os dias apresentados é de 0,31 mm. A evapotranspiração potencial mostrou-se regular durante todo o período analisado, com valores bem aproximados entre si. A evapotranspiração real apresentou-se idêntica à evapotranspiração potencial nos dias 2, 3, 4, 5 e 6. Diferenciou-se levemente da ETP nos dias 7, 8, 9 e 10 no dia 1.

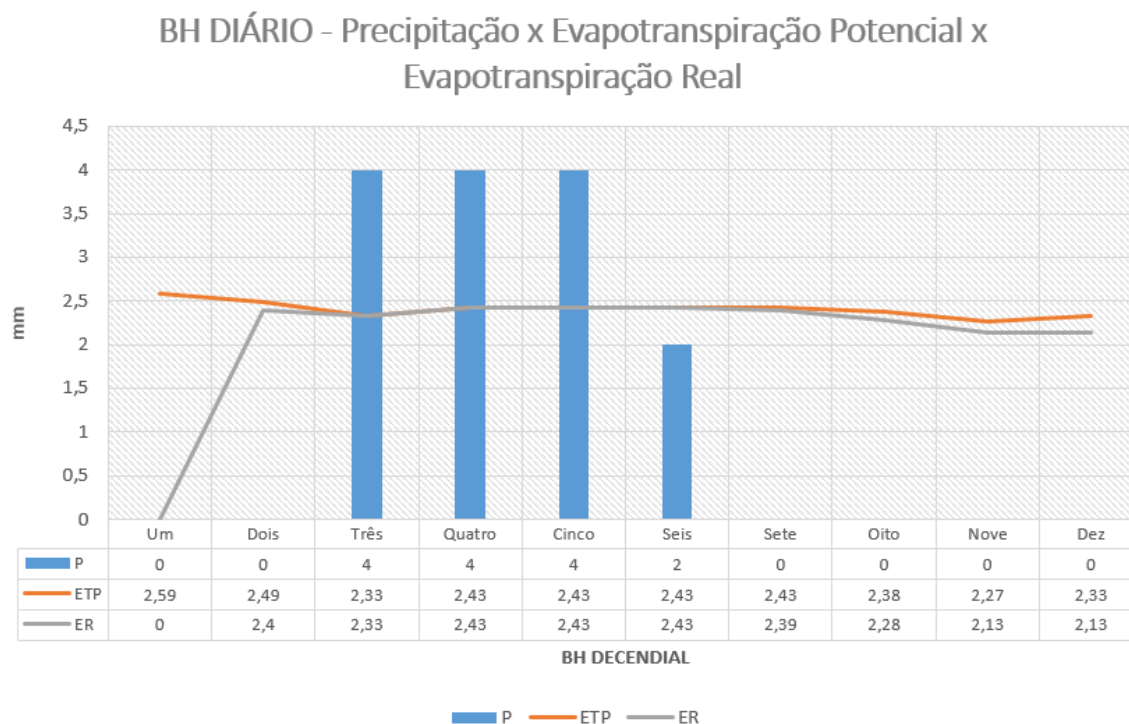


Figura 4.3. Balanço Hídrico Diário – Precipitação versus evapotranspiração potencial versus evapotranspiração real. Dados referentes aos 10 primeiros dias do mês de julho de 2016. CAD = 100 mm = ARM máximo.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Assim como no balanço hídrico mensal, ao analisar-se o balanço hídrico diário é possível verificar claramente a relação dos períodos quentes com maiores taxas de evapotranspiração e os frios com taxas menores.

A Figura 4.4 realiza a comparação gráfica entre a deficiência e o excedente hídrico diários.

Considerando-se um CAD – capacidade de armazenamento de água, de 100 mm como valor base para um armazenamento máximo, considera-se excedente hídrico uma situação em que o armazenamento de água seja maior do que 100 mm. Em nenhum dos meses estudados verificou-se uma parcela hídrica acima de 100 mm, assim, não houve excedente hídrico entre os dias relacionados. Verificou-se uma maior parcela deficitária no dia 2. Os dias 4, 5, 6 e 7 não apresentaram déficit hídrico.

BH Diário - Deficiência x Excesso hídrico

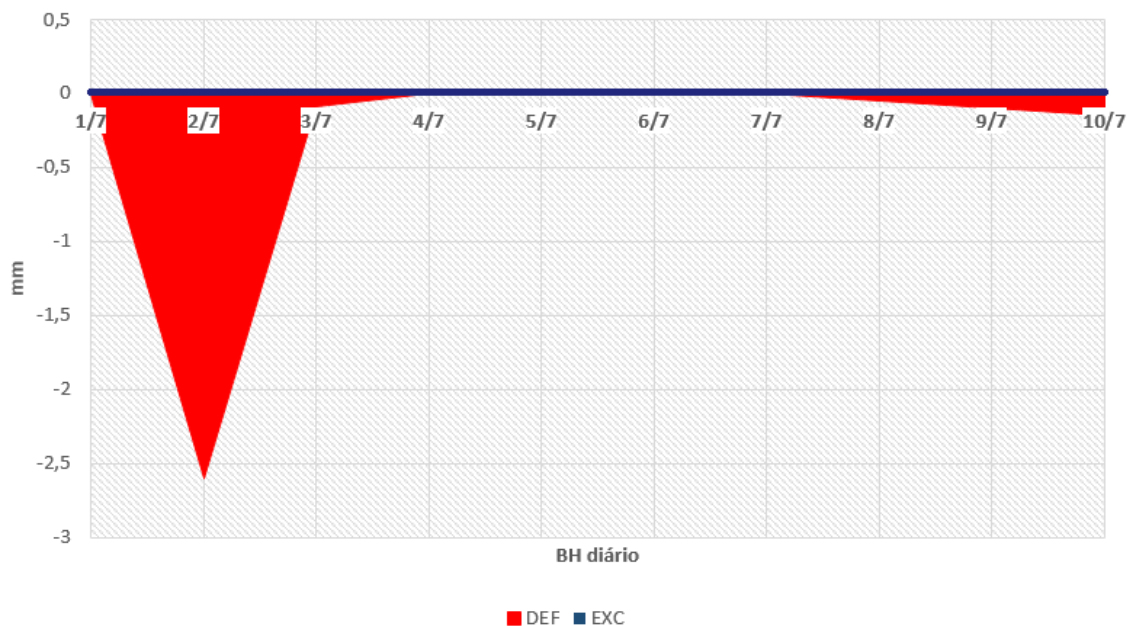


Figura 4.4. Balanço Hídrico Diário – Deficiência versus excedente hídrico. Dados referentes aos 10 primeiros dias do mês de julho de 2016. CAD = 100 mm = ARM máximo.
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

4.1.3. Sistema BHC.

O sistema BHC foi implementado de acordo com a arquitetura proposta no desenvolvimento do mesmo (capítulo 3). A seguir, as Figuras 4.5 a 4.11 apresentam o sistema BHC, construído de modo amigável ao usuário e de fácil utilização.

Na página inicial do sistema BHC, é apresentado ao usuário 3 opções de balanço hídrico, sendo estes: Balanço hídrico mensal, balanço hídrico decendial e balanço hídrico diário. Escolhida a opção desejada o usuário incluirá a seguir o período pretendido para o cálculo. Em seguida o usuário deverá informar o estado e a cidade brasileira a qual pretende obter o balanço. O usuário também poderá decidir se deseja informar os dados de entrada do sistema de forma manual ou utilizar os valores padrão. Realizados os procedimentos iniciais o sistema então, baseado nas informações inseridas, irá realizar os cálculos do BHC e apresenta-los na tela do computador.

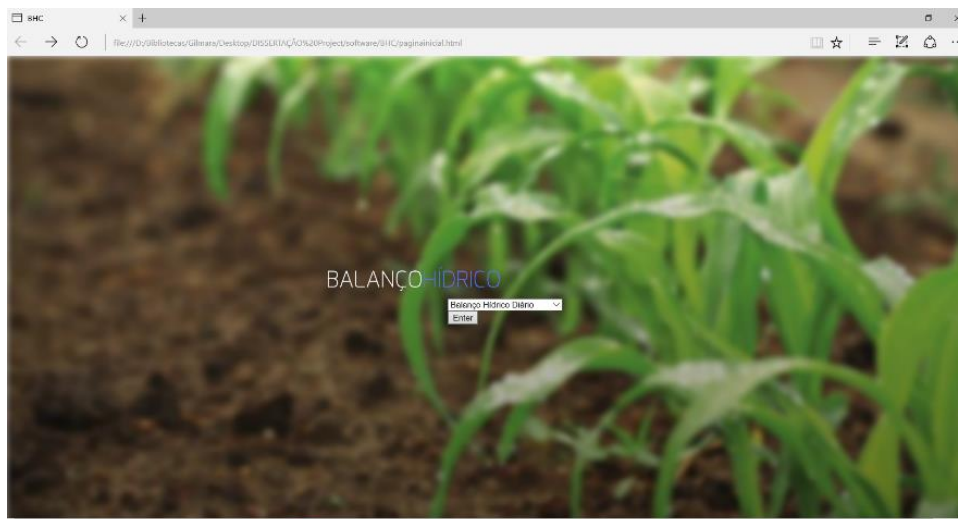


Figura 4.5. Sistema BHC – Parte 1.
Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

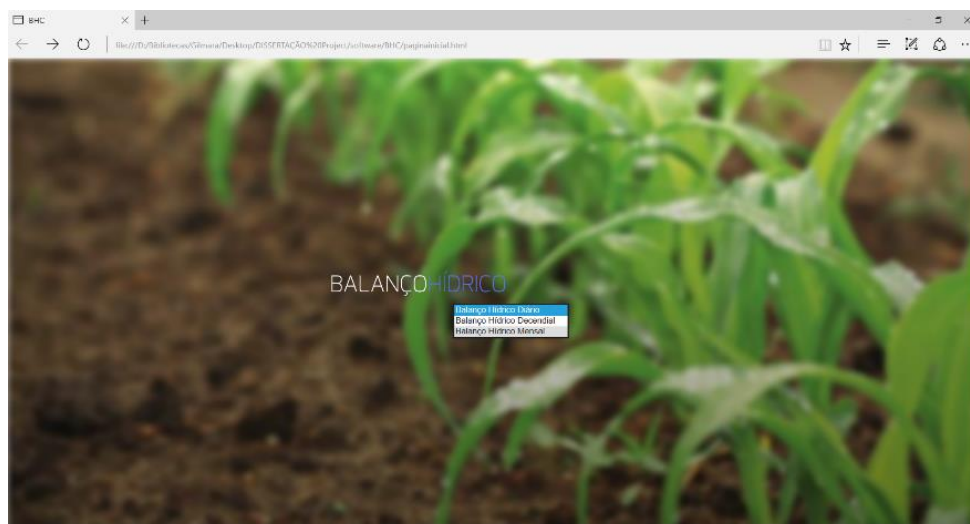


Figura 4.6. Sistema BHC – Parte 2.
Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

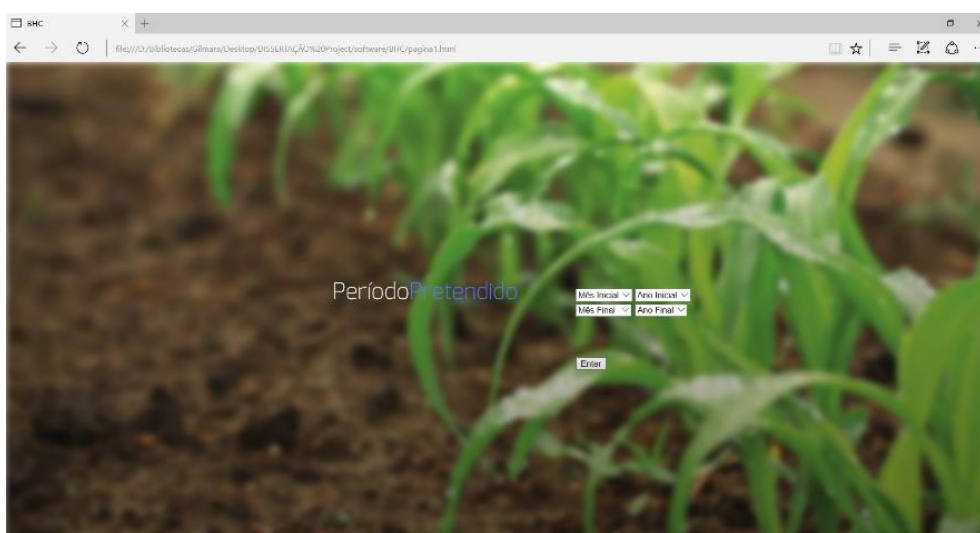


Figura 4.7. Sistema BHC – Parte 3.
Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

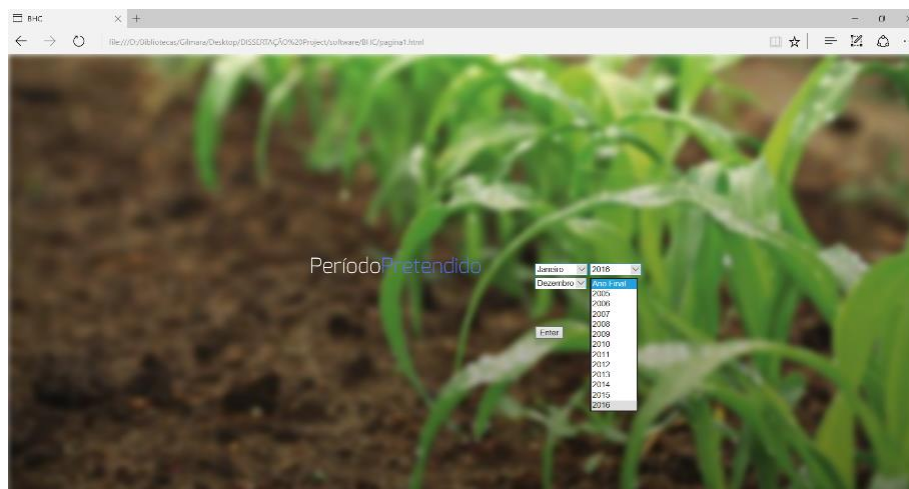


Figura 4.8. Sistema BHC – Parte 4.
Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

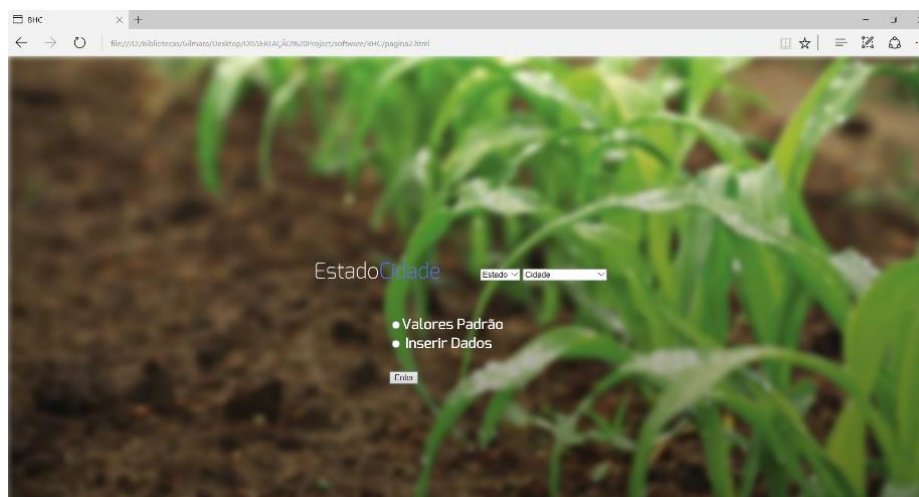


Figura 4.9. Sistema BHC – Parte 5.
Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

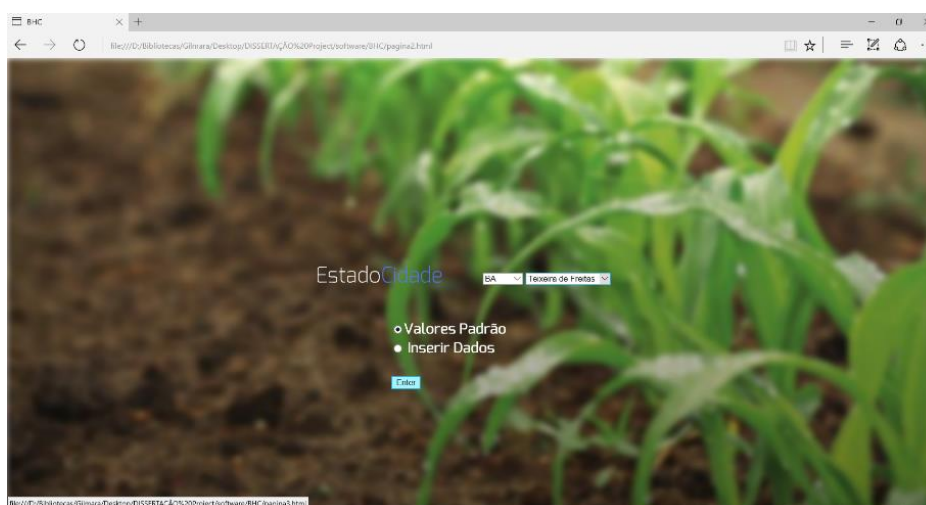


Figura 4.10. Sistema BHC – Parte 6.
Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

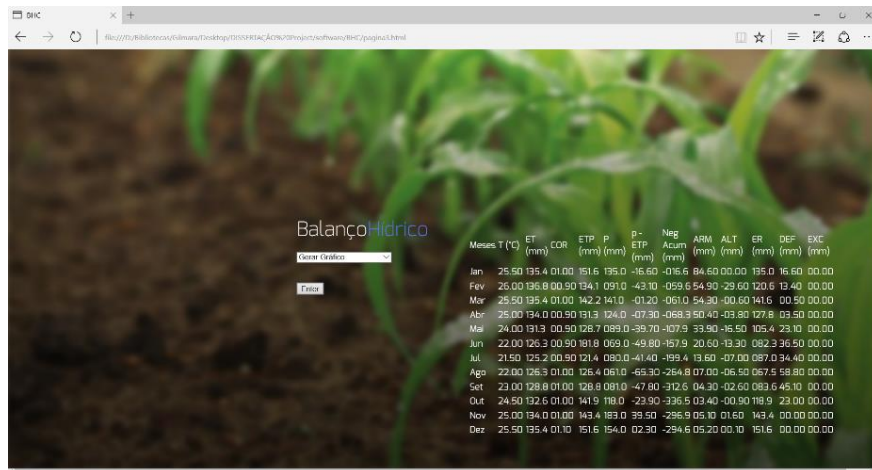


Figura 4.11. Sistema BHC – Parte 7.
Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nosso trabalho nos conduziu ao estudo que contabiliza a porção hídrica que um determinado solo é capaz de armazenar (o Balanço Hídrico – BH), através de equações matemáticas empíricas, utilizando-se variáveis Climatológicas (C). Os processos que influenciam o BHC foram investigados com aporte de uma ferramenta computacional – um software que desenvolvemos com o objetivo de permitir ao usuário obter um balanço hídrico de forma rápida, de modo a contribuir para o aumento da eficiência de gestão dos recursos hídricos disponíveis. Por se tratar de um estudo de caso, nossa aplicação se restringiu a cidade de Teixeira de Freitas – BA.

Ao longo da nossa investigação foi possível concluir que o conhecimento prévio do BH, bem como dos fenômenos hidrológicos, proporciona subsídios que fundamentam a tomada de decisões e ajudam em um planejamento de manejo de uso racional dos recursos hídricos, o que permitiria adequar os fatores socioeconômicos aos ambientais.

Durante todo o projeto, foram aplicados conceitos de engenharia de software para o desenvolvimento do sistema. A aplicação destes conceitos assegurou a eficiência da ferramenta computacional. Além disso, designar como objeto de estudo o balanço hídrico, permitiu reunir e aplicar várias técnicas de desenvolvimento em um cenário específico.

O trabalho forneceu um entendimento crucial a respeito dos conceitos de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável. Também relacionou o desenvolvimento do setor agrícola com o desenvolvimento sustentável. Viu-se também, os conceitos de balanço hídrico - real e climatológico, seus componentes, suas aplicações, bem como seus benefícios. Sobre o balanço hídrico climatológico, foram apresentados todas as suas variáveis e seus cálculos, de acordo com a formulação de Thornthwaite e Mather e demais contribuições de estudiosos da atualidade. Apresentou-se ainda o conceito de engenharia e desenvolvimento de software, explanando um entendimento crucial a respeito de cada uma de suas etapas.

Conseguiu-se não só desenvolver uma ferramenta computacional aplicando técnicas avançadas de desenvolvimento, como também, através dos conhecimentos adquiridos na área de tecnologia da informação, proporcionar

uma nova ferramenta capaz de contribuir para a economia de água potável e de recursos financeiros em diversas áreas de atuação do BH, como no campo da agricultura, turismo, planejamento urbano e tantas outras, e acessibilidade das informações.

A Tecnologia da Informação, associada aos conhecimentos do balanço hídrico pode prover ferramentas computacionais que facilitam o dia a dia dos gestores e tomadores de decisão quanto ao status da água no solo, bem como fornece uma ferramenta de tomada de decisão aos usuários de água no sentido de proporcionar um uso mais racional deste recurso. Atingiu-se o objetivo de propor uma ferramenta computacional, que possa facilitar a estimativa do balanço hídrico do solo (armazenamento, deficiência e excesso), e contribuir para o aumento da eficiência do uso da água e para a gestão dos recursos hídricos. Destacou-se a importância do balanço hídrico para a economia de água e em que áreas pode ser utilizado, propôs-se um método computacional que permita ao usuário obter um balanço hídrico de forma rápida e por fim realizou-se um estudo de caso, aplicando-se os cálculos do balanço hídrico à cidade de Teixeira de Freitas – BA.

É importante destacar o fato de que atualmente dados agrícolas e meteorológicos nem sempre são fáceis de se obter. Isto dificulta imensamente o estudo aprofundado dos mesmos por parte dos interessados. Assim, sugere-se que haja uma facilitação na disponibilização dos mesmos, por parte dos órgãos competentes.

Sugere-se ainda para trabalhos futuros o desenvolvimento de ferramentas computacionais voltadas para o planejamento hídrico, tais como o BH, que possam contribuir com o setor e ser de fácil acesso por parte dos usuários e estudiosos. O setor apresenta uma enorme carência de ferramentas tecnológicas voltadas para áreas específicas, tais como o manejo de culturas agrícolas, entre outros.

Como projeto futuro sugere-se dar prosseguimento ao desenvolvimento da ferramenta computacional afim de colocá-la em funcionamento entre estudiosos do BH, além de transformar-se a ferramenta em uma aplicação mobile.

As ferramentas computacionais apresentam-se como uma das maiores aliadas ao desenvolvimento sustentável. O uso de tecnologias permite um

processamento de dados capaz de transformar uma série de cálculos e equações profundas, em gráficos e tabelas de fácil interpretação, contribuindo para uma tomada de decisões segura e eficaz.

REFERÊNCIAS

Almeida, P. S. **Resíduos sólidos urbanos: Aterro sustentável para municípios de pequeno porte.** Escola de artes, ciências e humanidades da universidade de São Paulo, USP. ISBN 85-86552-70-4. Editora Rima Artes e Textos. Fundo de Recursos Hídricos - PROSAB. São Paulo, 2009.

ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Temperatura do solo e do ar. LCE 306 - Meteorologia Agrícola. ESALQ/USP. São Paulo, 2009.

ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Balanco Hídrico.** Climatológico Normal e Sequencial, de cultura e para manejo de irrigação. LCE 306 - Meteorologia Agrícola. ESALQ/USP. São Paulo, 2012.

BATISTA, R. A.; SOUZA, L. F. P.; LEOZIRO, J. S.; PEREIRA, J. A. **Sistemas de informações:** um estudo comparativo das vantagens e desvantagens do uso de software integrados e não integrados. In: VII Ciclo de estudos em administração e V ciclo de estudos tecnológicos. Amplitude da administração: aplicabilidade no contexto empresarial, 19 p., setembro, 2012. Jandaia do Sul, Paraná, **Anais.** Jandaia do Sul, Paraná, editora: fafijan, 2012.

BERTOL, G. A; CAMARGOS, C. C; VELÁSQUEZ, L. N. M; BRANCO, O. E. A; COTA, S. D. S. **Aplicação do método do cálculo do balanço hídrico na avaliação da recarga no aquífero Bauru em Araguari – MG.** In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 14 p., 2016. São Paulo. Anais. São Paulo, 2006.

BEZERRA, E. Princípios de análise e projeto de sistemas com UML. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

CAMARGO, A.P. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. Boletim Técnico n. 116, IAC, 1971.

CAPORAL, F.R; COSTABEBER, J.A. **Agroecologia e Extensão Rural:** contribuições para a promoção do desenvolvimento rural sustentável, MDA/SAF/DATER, Brasília, 2007.

CARMO, R. L., OJIMA, A. L. R O., OJIMA, R., NASCIMENTO, T. T. **Água virtual, escassez e gestão: O Brasil como grande “exportador” de água.** Ambiente e Sociedade. Campinas, SP, Brasil. V.X, n 1. P. 83-96. Jan-jun, 2007.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Hidrologia.** Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006. 115 p. Disponível em <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/it113-hidrologia.htm>>, acesso em 10 de nov. de 2016.

CLIMATEMPO, **Climatologia:** temperatura da cidade de Teixeira de Freitas. <www.climatempo.com.br/climatologia/2597/teixeiradefreitas> Acesso em: 5 de Maio. 2016.

CUNHA, M.C.; OLIVEIRA E.D.; THOMAZ, E.L.; VESTENA, L.R. **Análise temporal do Balanço Hídrico na Bacia do rio das Pedras.** Revista brasileira de geografia física, UFPE, ISSN: 1984-2295, Guarapuava - PR, 2011.

CUSTODIO, E., LLAMAS, M.R. **Hidrologia subterrânea.** Barcelona: Ediciones Omega S.A., vol 2. 1157 p. 1976.

D'ANGIOLELLA, G., VASCONCELLOS, V. L. D. **Planilhas EXCEL para cálculo de Balanço Hídrico Climatológico com diferentes metodologias para estimativa da evapotranspiração potencial.** In: III Encuentro de las aguas: agua, vida y desarrollo, Santiago (Chile), 2001. Disponível em: <http://www.abcmac.org.br/files/simposio/3simp_agosto_planilhaexcel.pdf>. Acesso em 10 de Novembro de 2016.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (FAO. Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33). Tradução de H. R. Gheyj; A. A. de Sousa; F. A. V. Damasceno; J. F. de Medeiros. 1994.

FILHO, Wilson de Pádua Paula. **Engenharia de Software: Fundamentos, Métodos e Padrões.** 2º ed., Rio de Janeiro: Editora LTC, 2003.

GUEDES, G. T. A. **UML: uma abordagem prática.** 2. ed. Paulo: Novatec, 2006.

JÚNIOR, A. R. B. **Elementos de Hidrologia Aplicada**. Disponível em <<http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodrigues/5%20evapotranspiracao.pdf>>. Acesso em 27 de jul. de 2016.

LARMAN, C. **Utilizando UML e padrões: uma introdução à análise e ao projeto orientado a objetos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

LYRA, D. S. F. **Aplicabilidade dos índices de conforto térmico: Um estudo de caso em Salvador – Bahia**. Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Salvador, Bahia, 2007.

MAGALHÃES, P. S; GOMES, A. S; PIRES, M. M. POZZEBON, E. J; ROSADO, P. L. **Demanda de água para agricultura irrigada na sub-bacia de transição do rio das contas, Bahia, Brasil**. RBRH - Revista brasileira de recursos hídricos. Volume 18 n. 3 - Jul/Set 2013, 127-137. Bahia, 2013.

MATEUS, M. S. C. S. **Proposta de modelo para avaliação do balanço hídrico de aterros de resíduos sólidos urbanos: Estudo de caso do aterro metropolitano centro de Salvador – BA**. Tese de doutorado. Maio de 2008. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, 2008.

MENDONÇA, P.V. **Sobre o novo método de balanço hidrológico do solo de Thornthwaite-Mather**. In: CONGRESSO LUSO-ESPANHOL PARA O PROGRESSO DAS CIÊNCIAS, p.271-282, **Anais**. Madri, 1958.

PANACHUKI, E. **Infiltração de água no solo e erosão hídrica, sob chuva simulada, em sistema de integração agricultura-pecuária**. Campus de Dourados. 75 p. Dissertação (Programa de pós-graduação em agronomia). - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Dourados, 2003.

PEREIRA, Márcio Salú. **Zoneamento agroclimático para a cultura dos citros no agreste pernambucano**. 51 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 478 p., São Paulo, 2002.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Editora: FEALQ – Fundação de estudos agrários Luiz de queiroz. Campus Luiz de Queiroz / USP. São Paulo, 1997.

POMPILHO, S. **Análise essencial: guia prático de análise de sistemas**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, Rio de Janeiro, 2002.

PRESSMAN, R. S. **Engenharia de Software**. 6. Ed. 2006. Artmed Editora S.A. e McGraw-Hill Education. São Paulo, 2006.

RUMBAUGH, J.; BRAHA, M. **Modelagem e projetos baseados em objetos com UML**. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2006.

SANTOS, A. R. **Precipitação Atmosférica**. Departamento de Geografia/Climatologia - UFES, Universidade federal do espírito santo. Espírito Santo, 2006. Disponível em <<http://www.mundogeomatica.com.br/CL/ApostilaTeoricaCL/Capitulo4-PrecipitacaoAtmosferica.pdf>>. Acesso em: 20 de dezembro de 2016.

SILVA, J. P.; MEIRELES, E. J. L.; CAMARGO, M. B. P.; PANTANO, A. P.; ROMANI, L. A. S. **BHCalc - Manual do usuário**. Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP, v. 148, 26 p.: Documentos / Embrapa Informática Agropecuária, ISSN 1677-9274; Dezembro, 2016. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/156471/1/Doc148.pdf>>. Acesso em: 10 de abril de 2017.

SILVA, S. F. B. **Engenharia de Requisitos: Uma análise das técnicas de levantamento de requisitos**. Universidade Fumec, Faculdade de Ciências Empresariais – FACE. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado em ciência da computação) – Universidade FUMEC, Belo horizonte, 2012.

TEIXEIRA, G.C.S.; BELTRÃO, D.S.; EVANGELISTA, A.W.P. **Estudos de evapotranspiração em casa de vegetação**. Universidade Federal de Goiás -

Goiânia – Brasil, 2011, 524p. Disponível em <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2011b/ciencias%20agrarias/estudos%20de%20evapotranspiracao.pdf>>, acesso em 10 de nov. de 2016.

THORNTHWAITE, C.W. **An Approach toward a Rational Classification of Climate. Geographical Review.** Janeiro, Vol. 38, No. 1. 55-94 p, 1948.

THORNTHWAITE, C. W. & MATHER, J. R. **The water balance. Publications in Climatology.** 104 p. New Jersey, Drexel Inst. of Technology, 1955.

TOMASELLA, J.; ROSSATO, L. Instituto nacional de pesquisas espaciais (INPE). **Balanço Hídrico.** (INPE-13140-PRE/8399). Tópicos em meio ambiente e ciências atmosféricas. São José dos Campos, 2005.

VASCONCELOS, S.M.S. **Plano de gestão participativa dos aquíferos da Bacia potiguar: Balanço hídrico e estimativa de reservas,** Ceará, 2009,

VICTORINO, C. J. A. **Planeta água morrendo de sede.** Uma visão analítica na metodologia do uso dos recursos hídricos. Editora: EdiPUCRS. Porto Alegre, 2007.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** 245p. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

ZEPKA, G. S. **Análise do balanço hídrico para a cidade de Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Meteorologia.** RS. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia. 7, 2002, Foz de Iguaçu-PR. *Anais.* Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1 CD-ROM. Foz do Iguaçu, 2002.

APÊNDICE A – Diagrama de Fluxo de Dados

