

**Universidade Federal de Minas Gerais**  
**Instituto de Ciências Biológicas**

**ALINE GOMES FERREIRA**

**BALANÇO HÍDRICO PARA CULTURA DO CAFÉ ARÁBICA NO MUNICÍPIO DE  
SÃO DOMINGOS DAS DORES – MG**

**Belo Horizonte**

**2014**

**ALINE GOMES FERREIRA**

**BALANÇO HÍDRICO PARA CULTURA DO CAFÉ ARÁBICA NO MUNICÍPIO DE  
SÃO DOMINGOS DAS DORES – MG**

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gerenciamento de Recursos Hídricos do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do grau de Especialista em Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Antonio Rodrigues Barbosa.

Coorientador: Prof. Dr. Kleber Ramon Rodrigues.

**Belo Horizonte**

**2014**

Ferreira, Aline Gomes

Balanço Hídrico para cultura do café arábica no município de São Domingos das Dores – MG/ Aline Gomes Ferreira - 2014.

52 f.: il. Color. ; 30 cm

Orientador: Francisco Antonio Rodrigues Barbosa.

Monografia (pós-graduação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto Estadual de Ciências Biológicas.

Balanço Hídrico Climatológico. 2. Evapotranspiração. 3. Demanda hídrica. 4. Café Arábica. Barbosa, Francisco A. R. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Curso de Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos Engenharia Ambiental. III.Título.

**ALINE GOMES FERREIRA**

**BALANÇO HÍDRICO PARA CULTURA DO CAFÉ ARÁBICA NO MUNICÍPIO DE  
SÃO DE SÃO DOMINGOS DAS DORES – MG**

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gerenciamento de Recursos Hídricos do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do grau de Especialista em Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Antônio Rodrigues Barbosa.

Coorientador: Prof. Dr. Kleber Ramon Rodrigues.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_.

Nota: \_\_\_\_\_

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Francisco Antonio Rodrigues Barbosa  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Kleber Ramon Rodrigues (Coorientador)

---

Prof. Dr. José Fernandes Bezerra Neto

**Belo Horizonte**

**2014**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força e direcionamento de meus passos para que eu alcançasse meus objetivos.

À minha família pelo afeto e dedicação, não tenho palavras pra descrever o quão importante vocês são pra mim;

Aos amigos que fiz durante o curso, pela verdadeira amizade que construímos em particular aqueles que estavam sempre ao meu lado (Erick, Luciana, Izabela e Webert), por todos os momentos que passamos durante o curso, meu especial agradecimento. Sem vocês essa trajetória não seria tão prazerosa;

Ao responsável pela Estação Meteorológica Laia & Souza, Márcio Luiz de Carvalho pela colaboração.

Aos meus professores pelos ensinamentos, é a oportunidade que tenho para agradecer-los por tão grandioso trabalho;

Ao meu orientador Francisco Barbosa e ao meu coorientador Kleber Rodrigues pelo auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

## RESUMO

FERREIRA, A. G. **Balanço hídrico para cultura do café arábica no município de São Domingos das Dores – MG.** Monografia (Pós-Graduação em Gerenciamento de Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

O balanço hídrico é um método de se calcular a disponibilidade de água no solo para as comunidades vegetais. O solo é o reservatório natural de água para a vegetação, a entrada de água é representada pela precipitação e irrigação enquanto a saída é a evapotranspiração. O objetivo deste trabalho foi calcular e analisar o Balanço Hídrico Climatológico proposto por THORNTHWAITE E MATHER (1955) para cultura do café no município de São Domingos das Dores, Minas Gerais, uma vez que a região se destaca pela cultura do café. Foram utilizados dados coletados no período de 2004 a 2013 pela Estação Meteorológica das Fazendas Reunidas Laia & Souza, localizada no município em estudo. Com o balanço hídrico pôde-se avaliar que a temperatura média do município é de 22,1 °C, e a pluviosidade média anual é de 1.213,2 mm, por isso pode-se inferir que a área está apta para o cultivo do café. Os meses que ocorreram déficits significativos concentraram-se de maio a outubro, logo após esse período novembro a março as precipitações que superaram os 100 mm, período em que estarão ocorrendo à florada, formação do chumbinho, expansão e granação dos frutos, simultaneamente, nessas fases a disponibilidade de água no solo tem grande importância para a produção de qualidade. A reposição hídrica começa no mês de novembro, ainda assim a deficiência hídrica média anual da região é de 206,5 mm, nessas condições o indicado seria adequar o suprimento de água aos cafeeiros, por meio da irrigação.

Palavras-Chave: Balanço Hídrico Climatológico, Evapotranspiração, Demanda hídrica, Café Arábica.

## ABSTRACT

FERREIRA, A. G. **Water balance cultivation of Arabica coffee in São Domingos das Dores - MG.** Monograph (Graduate Studies in Water Resources Management) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

The water balance is a method of calculating the availability of soil water to plant communities. The soil's natural water to vegetation water entry is represented by precipitation and irrigation while the output is evapotranspiration. The aim of this study was to calculate and analyze the water balance Climatological proposed by Thornthwaite and Mather (1955) for coffee culture in São Domingos das Dores, Minas Gerais, since the region stands out for coffee culture. Used were collected between 2004-2013 by Meteorological Station “Fazendas Reunidas Laia & Souza”, located in the city under study. With the water balance we could assess that the average temperature of the city is 22.1 °C, and the average annual rainfall is 1.213,2 mm, so it can be inferred that the area is suitable for growing coffee. The months were significant deficits concentrated from May to October, shortly after that period November-March precipitation that exceeded 100 mm, a period that will be occurring at flowering, pellet formation, expansion and grain formation, while those phases water availability in the soil is very important for quality production. Fluid replacement begins in November, yet the average annual water deficit in the region is 206.5 mm, as indicated in these conditions would suit the water supply to the coffee, through irrigation.

Keywords: Climatological water balance, evapotranspiration, water demand, Arabica Coffee.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fases fenológicas, vegetativas e reprodutivas do cafeeiro arábica abrangendo 24 meses. ....	16
Figura 2 – Escala para determinação de estágios fenológicos do café arábica .....	17
Figura 3 - Estação meteorológica das Fazendas Reunidas Laia e Souza .....	28
Figura 4 – Localização do Município de São Domingos das Dores/MG.....	29



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Capacidade de água disponível no solo para algumas espécies vegetais .....	24
Tabela 2 - Classificação climática segundo Thornthwaite, baseados no índice de umidade ...	26
Tabela 3 - Classificação climática segundo Thornthwaite, baseados no índice de aridez e umidade .....	26
Tabela 4 - Classificação climática segundo Thornthwaite, baseados no índice térmico (It)....	27
Tabela 5 - Classificação climática segundo Thornthwaite, baseados na relação entre ETP no verão e anual .....	27
Tabela 6 - Histórico da temperatura mínima, máxima e média (°C) .....	36
Tabela 7 - Índice pluviométrico (mm).....	37
Tabela 8 - Balanço hídrico climatológico pelo método de Thornthwaite e Mather (1955). ....	38
Tabela 9 - Classificação climática de Thornthwaite-Mather (1955) do município de São Domingos das Dores - MG .....	53

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Relação entre os índices pluviométricos e temperaturas mínimas e máximas .....	38
Gráfico 2 – Relação entre os índices pluviométricos e ETP .....	39
Gráfico 3 - Extrato do balanço hídrico mensal.....	41
Gráfico 4 - Capacidade de armazenamento de água no solo .....	42
Gráfico 5 - Relação entre evapotranspiração: potencial e real .....	42
Gráfico 6 - Balanço hídrico normal mensal.....	43
Gráfico 7 - Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica ao longo do ano. ....	44

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	12
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	12
<b>2.2 Objetivo Específicos</b> .....	12
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	13
<b>3.1 A importância do clima para agricultura</b> .....	13
<b>3.2 fenologia do cafeeiro</b> .....	14
<b>3.3 Demanda climatológica do cafeeiro arábica</b> .....	18
<b>3.4 Balanço hídrico climatológico</b> .....	21
<b>3.5 Manejo das irrigações via clima</b> .....	24
<b>3.6 Classificação climática</b> .....	25
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	28
<b>4.1 Local de realização do Estudo</b> .....	28
<b>4.2 Balanço hídrico</b> .....	30
4.2.1 Método de Thornthwaite-Mather, 1955 .....	30
<b>4.3 Classificação climática</b> .....	34
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	36
<b>5.1 Balanço hídrico</b> .....	36
<b>5.2 Classificação climática</b> .....	44
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	46
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	48

## 1. INTRODUÇÃO

A produção agrícola mundial varia conforme as características climatológicas, sendo particularmente importantes as variações locais que podem ser de temperatura, precipitação e/ou radiação solar. As principais variáveis usadas no estudo de culturas agrícolas são a temperatura e a precipitação que juntas podem ser utilizadas para o cálculo do balanço hídrico (PEREIRA, 2005 apud SILVA et al., 2012).

A cultura do café tem significativa importância no desenvolvimento econômico e social do País, uma vez que o produto é base da economia de diversas regiões sob variadas condições climatológicas. Dentre essa variação tanto a produtividade da cultura quanto a qualidade do produto final são diretamente afetados pela disponibilidade de água no ambiente.

Os efeitos evidentes da falta de água sobre a produção agrícola em todo o mundo são amplamente conhecidos, sendo este recurso considerado o mais essencial ao crescimento e produção das culturas (WAGNER, 2009).

De acordo com Martins et al. (2007) “o plantio de café no País está geralmente situado em regiões em que as condições climáticas e o balanço hídrico são favoráveis”. Por isso, na agricultura, a avaliação do balanço hídrico tornou-se uma das formas de se monitorar a variação do armazenamento de água no solo. A partir do suprimento de água no solo, por meio da precipitação ou irrigação, da demanda atmosférica e da capacidade de água disponível, ele fornece estimativas da evapotranspiração real, da deficiência, do excedente hídrico e do armazenamento de água no solo. O balanço hídrico assim calculado torna-se um indicador climatológico da disponibilidade hídrica em uma região (PEREIRA et al., 1997 apud SOUZA, et al., 2010).

Estudar as perdas de água e conhecer sobre a distribuição e disponibilidade espacial e temporal dos recursos hídricos, permite que se estabeleçam diretrizes e políticas de planejamento e execução para o uso racional da água, já que a demanda de água, os conflitos gerados pelos usos e os prejuízos causados pelo excesso e pela escassez são hoje um desafio para os gestores.

São Domingos das Dores de Minas Gerais, tem sua economia baseada principalmente no comércio e na agricultura do café, predominantemente da espécie arábica (*Coffea arabica L.*). Segundo dados da estação meteorológica das Fazendas Reunidas Laia & Souza, pluviosidade anual média de aproximadamente 1.213 mm,

temperaturas médias anuais de 16,7°C a 27,4°C, e condições climáticas que favorecem a cafeicultura.

Dentro deste contexto, o presente trabalho teve como objetivo apresentar o balanço hídrico proposto por Thornthwaite e Mather (1955), no município de São Domingos das Dores para a cultura do café nessa região.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho foi calcular e analisar o Balanço Hídrico Climatológico (BHC) proposto por Thornthwaite e Mather para a cultura do café arábica no município de São Domingos das Dores, indicando os meses que ocorrem déficits, período de reposição hídrica e as condições para adequar o suprimento de água aos cafeeiros no intuito de melhorar a produtividade e qualidade da produção do café arábica.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Verificar as reais necessidades hídricas da cultura do café arábica;
- Avaliar as condições climáticas pertinentes ao manejo da cafeicultura;
- Realizar os cálculos e análises pertinentes ao BHC da cultura.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. A importância do clima para a agricultura

A agricultura é um dos mais importantes setores da economia para a maioria dos países do mundo, e ela vem progredindo técnica e cientificamente propiciando a exploração das mais distintas regiões agrícolas. Porém, há de se ressaltar que apesar dos seus consideráveis avanços, não eliminou sua dependência em relação ao clima, uma vez que ele exerce influências diretas sobre os estágios da cadeia de produção agrícola (WAGNER, 2009).

Ayoade (2010, p. 261) ao se tratar de clima e agricultura, defende que,

Apesar dos recentes avanços tecnológicos e científicos, o clima é ainda a variável mais importante na produção agrícola. O fator climático afeta a agricultura e determina a adequação dos suprimentos alimentícios de dois modos principais. Um é através dos azares (imprevistos) climáticos para as lavouras e o outro é através do controle exercido pelo clima sobre o tipo de agricultura praticável ou viável numa determinada área. Os parâmetros climáticos exercem influência sobre todos os estágios da cadeia de produção agrícola, incluindo a preparação da terra, semeadura, crescimento dos cultivos, colheita, armazenagem, transporte e comercialização.

Ayoade (2004) cita ainda o clima como a variável de maior significância frente à produção agrícola, por isso a necessidade de estudos que relacionem as características climáticas de um dado lugar com a agricultura. Este argumento é válido, pois o clima leva os indivíduos a tomarem decisões a fim de alavancar a produção, aproveitando certas características climáticas, ou buscando atenuar outras.

Assim, mediante o conhecimento do comportamento climático de uma região na gestão das atividades agrícolas torna-se de fundamental importância na determinação do potencial de uma espécie vegetal ou de rendimentos de uma cultura (D'ANGIOLELLA, 1998).

Para Sorre (1957 apud SILVA, 2010), o clima pode ser entendido como a sucessão habitual dos tipos de tempo num determinado local da superfície terrestre. Destacando-se os “estados da atmosfera”, os tipos de tempo mais excepcionais, e a “sucessão” dos tipos de tempo, ou seja, seu ritmo e duração, que são fatores fundamentais no quadro da atmosfera e no planejamento socioambiental.

De acordo com Silva (2010):

Os estudos em Climatologia são estruturados com base nos elementos climáticos e fatores geográficos do clima. Os elementos que compõem o

clima são: a temperatura, umidade e pressão atmosférica, os quais variam no tempo e no espaço conforme os fatores geográficos: a latitude, a altitude, a maritimidade, a continentalidade, a vegetação e as atividades humanas. Junto a eles somam-se os aspectos da dinâmica do meio oceânico e atmosférico, como as correntes oceânicas, massas de ar e frentes, os quais atuando de forma conjunta qualificam os diferentes tipos de clima.

Ribeiro (1993, apud SILVA & ASSUNÇÃO) chama atenção para a importância de entender o clima para realização de escolhas corretas frente à agricultura. Compreende-se que estas definições sigam a lógica das espécies adaptadas as características do ambiente, no desenvolvimento de espécies melhoradas, bem como de técnicas que permitam a produção em áreas onde o clima eventualmente apresente algum fator limitante a certas culturas.

Entre as ferramentas úteis para estudar a relação do clima com a agricultura destaca-se o Balanço Hídrico, cuja finalidade, para Tucci (1993), é contabilizar e comparar valores da precipitação com a evapotranspiração sobre uma determinada área. Trata-se de uma importante ferramenta, já que permite estimar as condições hídricas do solo, bem como a oferta de água para a vegetação nativa ou lavoura. A partir de estudos como este é que são indicados a necessidade ou não de projetos de irrigação ou definir a aptidão de determinada área para certo cultivo. Neste sentido, as contribuições de Thornthwaite e Mather (1955) são essenciais por contemplarem a possibilidade de obter informações sobre a quantidade de água disponível no solo, identificando períodos de deficiência e excesso hídrico (SILVA, R. & SILVA, G., 2012).

### **3.2. Fenologia do cafeeiro**

De acordo com Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas – CIAGRO (2008) a fenologia pode ser entendida como o estudo dos eventos cíclicos da vida da planta em função da sua reação às condições do ambiente.

Assad et al. (2001) afirmam que o ciclo fenológico do café é bem definido, ou seja, florescimento na primavera, frutificação no verão, maturação no outono e colheita no inverno.

A cultura do café arábica, nas condições de cultivo da maioria das regiões do Brasil, pode ser distinguida pelas fases preparativas e construtivas dentro de seu período fenológico. Na estação seca, como se tem baixas temperaturas, ocorre à fase preparativa, que não se manifesta claramente por caracteres externos. Durante o período



quente e chuvoso predomina a fase construtiva, onde são manifestadas as atividades de crescimento dos ramos, folhas, gemas, flores e frutos. No decorrer da fase construtiva há uma competição entre o crescimento vegetativo e o processo de frutificação, evidenciada pela alternância dos anos das grandes e pequenas produções (CIIAGRO, 2008).

A ordem das fases fenológicas possibilita determinar as relações e o grau de influência dos fatores envolvidos. Nesse sentido, Camargo et al. (2001 apud OLIVEIRA et al., 2012) destaca seis fases fenológicas distintas para o cafeeiro, sendo duas vegetativas e quatro reprodutivas que ocorrem em dois anos consecutivos, que seguem:

**1ª fase** – Vegetação e formação de gemas foliares: é uma condição fotoperiódica, ocorrendo de setembro a março, em dias longos, onde destaca-se o crescimento e formação de novas folhas.

**2ª fase** – Indução, desenvolvimento, maturação e dormência das gemas florais: ocorre em dias curtos, de abril a agosto, também uma condição fotoperiódica. As gemas (novas flores) maduras entram em dormência (período de interrupção do florescimento) no final e ficam aptas para se transformarem em botões florais e florescer após um choque hídrico na 3ª fase (Gouveia, 1984). Essa fase se completa quando o somatório de evapotranspiração potencial (ETP) acumula cerca de 350 mm a partir do início de abril. Nos dois meses finais, julho a agosto, as gemas entram em dormência e produzem um par de folhas pequenas, que separam o primeiro ano fenológico do segundo.

**3ª fase** – Florada e expansão dos frutos: segundo ano fenológico, de setembro a dezembro. Após um choque hídrico, por chuva ou irrigação, as gemas maduras intumescem, transformam-se em botões florais e florescem após cerca de uma 1 semana. Em seguida, vêm as fases de frutos chumbinhos e expansão rápida. Um estresse hídrico nessa fase pode prejudicar o crescimento dos frutos, resultando em peneira baixa.

**4ª fase** – Granação dos frutos: de janeiro a março do ano seguinte, quando há formação dos grãos. Um estresse hídrico pode prejudicar a granação, produzindo frutos mal granados que causam os defeitos preto, verde e ardido, como também causar chochamento de grãos.

**5ª fase** – Maturação dos frutos: de abril a junho, depende da precocidade da cultivar e da acumulação de energia solar, ou seja, do somatório de ETP, em torno de 700 mm, após a florada.

**6ª fase – Senescência:** em julho-agosto. Muitos ramos produtivos, geralmente terciários e quaternários, secam e morrem, limitando o crescimento do cafeeiro, é a chamada autopoda.

Um esquema detalhado da fenologia do cafeeiro é apresentado por Camargo et al. (2001 apud OLIVEIRA et al., 2012) na Figura 1, abaixo:

**Figura 1 – Fases fenológicas, vegetativas e reprodutivas do cafeeiro arábica abrangendo 24 meses.**

Período Vegetativo											
Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
Vegetação e formação das gemas florais							Indução e maturação das gemas florais				
										Repouso	

Período Reprodutivo											
Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
Florada, Chumbinho e expansão dos frutos				Granação dos frutos			Maturação dos frutos			Repouso, senescência ramos 3º e 4º	
Período reprodutivo (novo período vegetativo)										Autopoda	

**Fonte:** Camargo et al., 2001 citado por Oliveira et al., 2012.

Após o período de repouso das gemas dormentes nos nós dos ramos plagiotrópicos (0) ocorre aumento substancial do potencial hídrico nas gemas florais maduras, devido, principalmente, à ocorrência de um “choque” hídrico provocado por chuva ou irrigação. Nesse estágio, as gemas entumecem (1) e os botões florais crescem devido à grande mobilização de água e nutrientes (2), que se estendem até a abertura das flores (3), e posterior queda das pétalas (4) (CIIAGRO, 2008).

Após a fecundação, principia a formação dos frutos, fase denominada “chumbinho” (5), quando os frutos não apresentam crescimento visível. Posteriormente, os frutos se expandem (6) rapidamente, atingindo seu crescimento máximo, ocorre a formação do endosperma, que segue a fase de grão verde (7), com a granação dos frutos. Para a diferenciar o fim da fase 6 e início da 7 é necessário realizar um corte

transversal em alguns frutos para se verificar o início do endurecimento do endosperma. (CIIAGRO, 2008).

A partir da fase “verde cana” (8) que caracteriza o início da maturação, os frutos começam a mudar de cor (verde para amarelo), evoluindo até o estágio “cereja” (9), e já se pode diferenciar o tipo de cultivo de fruto amarelo ou vermelho. A seguir, os frutos começam a secar (10) até atingir o estágio “seco” (11) (CIIAGRO, 2008).

Visando detalhar o período reprodutivo do cafeeiro, Pezzopane et al. (2003 apud CIIAGRO, 2008) apresentam uma escala de avaliação de estádios fenológicos na Figura 2., desde a fase de gema dormente até o estágio de grão seco.

**Figura 2** - Escala para determinação de estágios fenológicos do café arábica



**Fonte:** Pezzopane et al., 2003 citado pela CIIAGRO, 2008.

### 3.3. Demanda climatológica do cafeeiro arábica

De acordo com Santos (1999) e Caramori et al. (2001) o café arábica é uma planta de clima tropical úmido com nítidas exigências quanto à temperatura, precipitação, umidade do ar, sucessão das estações do ano, entre outras. Estas características definem desde o desenvolvimento da planta, seu afloramento, produtividade chegando a questões quanto à qualidade da bebida e mesmo aos processos de secagem e beneficiamento para comercialização (SILVA, R. & SILVA, G., 2012).

No Brasil, muitas regiões produtoras de café estão localizadas nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Rio de Janeiro e Espírito Santo, regiões que ocorrem mais de 150 mm de chuvas, por mês, nas fases de florescimento, formação e maturação dos frutos, compreendidas nos meses de outubro a março, que corresponde ao período de renovação de ramos e de folhas (SEDIYAMA, et al., 2001).

Matiello (1991) afirma que as chuvas anuais de 1.200 mm podem ser consideradas adequadas ao bom desenvolvimento da cafeicultura do café arábica. Meireles et al., (2005) afirma que,

O cafeeiro arábica se desenvolve bem em regiões cujos limites de temperaturas médias anuais do ar se encontram entre 18 e 22°C, estando ideal entre 19 e 21°C, desde que sejam regiões livres ou pouco sujeitas a geadas (THOMAZIELLO et al., 2000). Se cultivado em áreas com temperaturas médias anuais do ar acima de 23°C apresenta frutificação e maturação demasiadamente precoces, o que traz vários inconvenientes, inclusive a perda da qualidade do produto, pois sua colheita e secagem irão ocorrer precocemente em estação ainda muito quente e úmida (CAMARGO, 1985).

Camargo (1985 apud MEIRELES et al., 2005) afirmam que as temperaturas elevadas na estação do florescimento podem dificultar as floradas e provocar a formação das estrelinhas, o que implicará na quebra de produção, principalmente nos anos em que a estação seca se prolonga. Por outro lado, caso este seja cultivado em áreas com temperaturas médias anuais inferiores a 18°C, haverá o prolongamento do período de frutificação, podendo a maturação se sobrepor ao florescimento no ano seguinte, prejudicando a vegetação e a produção final.

Assad et al. (2001) estabeleceram classes de temperaturas médias anuais ( $T_a$ ) e temperatura média do mês de novembro ( $T_n$ ), para definição das áreas aptas e não recomendadas para cultivo, sob ponto de vista térmico:

- $18^{\circ}\text{C} < T_a < 23^{\circ}\text{C} \Rightarrow$  Área apta.
- $T_n > 24^{\circ}\text{C} \Rightarrow$  Área apta com irrigação.

Camargo & Pereira (1994), reafirmam e explicam que quando a temperatura média anual é inferior a 18°C, o período de dormência das gemas florais pode ser retardado e o desenvolvimento dos frutos torna-se mais lento, o que faz com que o período de maturação seja coincidente com novo florescimento, dificultando a colheita. Por outro lado, quando a temperatura média anual é superior a 23°C e a temperatura média mensal de novembro é próxima a 24°C, é frequente haver problemas de frutificação por abortamento das flores, (CAMARGO, 1985; THOMAZIELLO et al., 1999).

Conforme descrito por Assad et al. (2000) logo após o início das primeiras chuvas, que têm pequena probabilidade de ocorrência no mês de setembro, verifica-se a floração do cafeeiro, influenciada pela temperatura. Nessa fase, a flor do café passa por mudanças muito rápidas e a florada dá-se entre 8 e 10 dias. Essa florada terá alta probabilidade de acontecer no mês de outubro quando as chuvas estão mais regulares. Porém a florada pode ocorrer nos meses de setembro, outubro e novembro.

Haarer (1962 apud SANTOS, 1999) informa que os períodos secos são importantes para o crescimento das raízes, para a maturação dos ramos formados na estação chuvosa precedente, para a diferenciação floral e maturação dos frutos.

De acordo com Matiello (1991 apud SEDIYAMA, et al., 2001), no período de vegetação e frutificação, que vai de outubro a maio, o cafeeiro exige maior disponibilidade de água e, na fase de colheita e repouso, de junho a setembro, a exigência é menor, podendo haver pequena deficiência hídrica sem grandes prejuízos para a planta. Além disso, os períodos curtos de seca parecem ser importantes para o crescimento de raízes, maturação dos ramos formados na estação chuvosa precedente e, principalmente, para a diferenciação floral e maturação dos frutos.

O cafeeiro para vegetar e frutificar, normalmente, necessita encontrar umidade suficiente no solo durante o período vegetativo e frutificação. Na fase de colheita e abotoamento da planta, julho-setembro, a umidade do solo pode reduzir bastante e aproximar-se do ponto de murcha permanente, em alguns casos, sem maiores problemas à cafeicultura (Camargo, 1985).

Quando a deficiência hídrica passa a ser elevada, o cafeeiro começa a apresentar os seguintes sintomas: murcha, desfolha, secagem dos ramos, morte das raízes e constatação de deficiência de nutrientes induzida. A consequência desses sintomas é a queda na produção, uma vez que a planta necessita encontrar umidade no solo durante todo o período de vegetação e de frutificação (ASSAD, et al., 2001).

Quanto ao regime hídrico, mesmo em regiões com total anual de chuvas elevado, pode e deve haver ocorrência de deficiência hídrica (DEF) em fases críticas da fenologia. Segundo Thomaziello et al. (2000 apud MEIRELES et al. 2011), regiões que apresentam o índice pluviométrico anual entre 1.200 mm e 1.800 mm e uma distribuição regular de chuvas são consideradas favoráveis ao cultivo do cafeeiro arábica.

Segundo Pereira et al. (2008 apud MEIRELES et al., 2011) o cafeeiro exige suprimento adequado de água desde a primavera, quando ocorre a florada e o desenvolvimento inicial dos frutos (chumbinho), até o início do outono (final da granação). Na fase de chumbinho há a expansão do volume dos frutos e a deficiência hídrica resulta em frutos menores. Se a falta d'água ocorrer durante a granação, os frutos ficarão chochos. Portanto, suprimento hídrico inadequado nessas fases resultará em perda de produção.

Para que haja o suprimento hídrico adequado as chuvas devem ser ligeiramente maiores que a evapotranspiração potencial. A deficiência hídrica ocorre quando o suprimento de água pelas chuvas e pelo armazenamento na zona das raízes não é suficiente para atender a demanda pela transpiração das plantas (PEREIRA et al., 2008 apud MEIRELES et al. 2011).

ARRUDA et al. (2000) salientam que o consumo de água pelo café é interrompido quando se esgotam 113 mm de água da camada do solo de 0 a 100 cm. Estas informações reforçam a adoção do critério estabelecido por CAMARGO (1985), onde é fixado o valor de 150 mm/ano como deficiência hídrica limite para cultivo de café. Essa teoria é reforçada no seguinte texto:

O cafeeiro arábica suporta bem o limite máximo de 150 mm de deficiência hídrica anual, principalmente se esta coincide com o período de dormência da planta, não se estendendo até a fase de floração e início da frutificação (THOMAZIELLO et al., 2000 apud MEIRELES et al. 2011).

No entanto, a deficiência hídrica é desejável após a granação, ou seja, durante os períodos de maturação e de repouso vegetativo, quando se inicia a formação das gemas florais da próxima safra (MEIRELES et al. 2011).

É característica da cafeicultura comercial do Brasil apresentar o florescimento na primavera, a frutificação no verão, a maturação no outono e a colheita no inverno. A maturação e a colheita são favorecidas pelo outono e pelo inverno, estações relativamente secas (MEIRELES, 2009). Meireles (2009) enfatiza ainda que uma das formas de avaliar os períodos com excedentes e deficiências hídricas ao longo do ano é

por meio do balanço hídrico, especificamente no caso do café, o monitoramento agrometeorológico vem sendo feito desde 2002 para algumas regiões dos estados de Minas Gerais, São Paulo e Paraná, empregando-se o balanço hídrico sequencial decendial de Thornthwaite e Mather (1955).

De acordo com Nunes et al. (2007) inicialmente, a cafeicultura se desenvolveu em regiões consideradas aptas à cultura, no que diz respeito às necessidades térmicas e hídricas, mas com a introdução da cultura em regiões consideradas marginais em termos de condições térmicas e disponibilidade hídrica, tornou-se necessária a adoção de novas tecnologias de cultivo, em especial a irrigação.

### **3.4. Balanço hídrico climatológico**

O balanço hídrico climatológico é uma das maneiras de se monitorar o armazenamento de água no solo. Por meio do suprimento de água ao solo, via precipitação ou irrigação, da demanda atmosférica e da capacidade de água disponível, o balanço hídrico fornece estimativas da evapotranspiração real, da deficiência e do excedente hídrico e do armazenamento de água no solo. O balanço hídrico assim calculado torna-se um indicador climatológico da disponibilidade hídrica em uma região (PEREIRA et al., 1997 apud SOUZA et al., 2010).

Souza et al. (2010) salienta ainda que existem diversos tipos de balanços hídricos, dentre esses modelos o mais conhecido foi o proposto por Thornthwaite, em 1948, posteriormente modificado por Mather, em 1955, que ficou conhecido como “Balanço Hídrico de Thornthwaite-Mather, 1955”.

O método de Thornthwaite e Mather (1955) permite a estimativa da evapotranspiração, sendo que o volume de água armazenada no solo determina a taxa de evapotranspiração real (ER). Quanto mais seco estiver o solo, menor será a evapotranspiração. Este balanço hídrico foi desenvolvido para determinar o regime hídrico de um local, sem a necessidade de medidas diretas das condições do solo. Para sua elaboração, há necessidade de se definir, para uma determinada região ou local, a capacidade de água disponível (CAD) no solo, os valores de precipitação (P) e evapotranspiração de referência (ETP), para um período considerado. Com essas informações básicas, a metodologia permite estimar, para o mesmo período, o armazenamento da água no solo (ARM), a evapotranspiração real (ER), deficiência (DEF) e excedente hídrico (EXC) em uma determinada região (OMETTO, 1981; PEREIRA et al., 1997 apud SCHÄFER, 2009).

Na agricultura, a teoria do balanço hídrico proposta por Thornthwaite e Mather (1955) é hoje uma importante ferramenta agro-meteorológica para caracterização do fator umidade do solo, no qual seus resultados podem ser utilizados para o zoneamento

agroclimático regional, bem como a demanda de potencial de água das culturas irrigadas e a definição de prioridades no planejamento de pesquisas. Além disso, o balanço hídrico torna-se indispensável na definição e quantificação das exigências climáticas das culturas econômicas, nas diferentes fases fenológicas, possibilitando o mapeamento das aptidões climáticas dessas culturas na área ou região de interesse (CAMARGO e CAMARGO, 1993; PEREIRA et al., 1997; TOMASELLA e ROSSATO, 2005).

O cálculo do balanço hídrico é fundamental para conhecer a evapotranspiração potencial, real, alteração no armazenamento, deficiência, excesso, escoamento e negativo acumulado, desta forma saberemos qual é a realidade em termos de armazenamento de água no solo. Conhecendo o balanço hídrico teremos um norteador para um bom planejamento agrícola e abastecimento de água sem comprometer o recurso hídrico (SILVA, 2012).

Para realização do balanço de água parte-se do pressuposto de que toda a precipitação se infiltra e que só haverá escoamento depois que a capacidade máxima de armazenamento de água do solo for suprida. A partir daí, serão gerados excedentes de água ou, se for o caso de não haver suprimento hídrico necessário para completar o armazenamento máximo, poderão ocorrer às deficiências hídricas. O suprimento de água do solo pode variar do “ponto de murcha”, quando falta água e os cultivos podem sofrer, à capacidade de campo, quando o armazenamento máximo é atingido (CPRM, 2002).

Algumas definições, segundo Alfonsi et al. (1995 apud SILVA, 2008) são necessárias para se entender o balanço hídrico:

**Evapotranspiração real ou efetiva:** quantidade de água que nas condições reais é evaporada do solo e transpirada pelas plantas nas condições atuais dos parâmetros meteorológicos, umidade do solo e condições da cultura. É o processo de transferência de vapor onde o solo não está totalmente coberto e nem na capacidade de campo. Além dos fatores meteorológicos que condicionam a evapotranspiração, tais como a radiação solar, o vento, a temperatura do ar e o déficit da pressão de vapor, a evapotranspiração real é grandemente afetada pelo tipo de cultura, porcentagem de cobertura do solo e disponibilidade de água no solo.

**Evapotranspiração potencial:** máxima capacidade de água capaz de ser perdida como vapor, em uma dada condição climática, por um meio contínuo de vegetação, que cobre toda a superfície do solo estando este na capacidade de campo ou



acima desta. Desta maneira, inclui a evaporação do solo e a transpiração de uma vegetação de uma região específica em um dado intervalo de tempo.

**Excedente hídrico:** diferença entre a precipitação, a evapotranspiração potencial e a alteração do armazenamento, quando o solo atinge a sua capacidade máxima de retenção de água.

**Deficiência hídrica:** diferença entre a evapotranspiração potencial e a real. No cálculo da deficiência hídrica anual (DEF) será usado o Balanço Hídrico de THORNTHWAITE & MATHER (1955). Foram estabelecidas as seguintes classes de DEF que definiram as áreas aptas e não recomendadas para cultivo, sob ponto de vista hídrico:

- DEF < 150 mm ⇒ Área apta sem irrigação.
- DEF > 150 mm ⇒ Área apta com irrigação.

**-Precipitação:** representa a recarga de água no sistema e é o fator que mais influencia no cálculo do balanço hídrico. Pode ser determinada de forma relativamente precisa, pois variações, mesmo que em pequenas distâncias, podem conduzir a valores diferentes de precipitação;

**-Evapotranspiração:** processo de transporte da água de uma superfície vegetada, na forma de vapor, para a atmosfera, através dos mecanismos combinados de evaporação do solo e transpiração das plantas.

**-Capacidade de armazenamento de água no solo:** representa a quantidade de água que pode ficar retida no solo. É uma característica da planta, independente do tipo de solo. A Tabela 1 mostra a capacidade de água disponível no solo para algumas espécies vegetais.

**Tabela 1** – Capacidade de água disponível no solo para algumas espécies vegetais.

Vegetação	Método	mm
Milho, algodão, café, laranja, cana de açúcar, mamona, mandioca.	Thornthwaite	100
Cana de açúcar, amendoim, girassol, soja, algodão, abacaxi, banana, citrus, café.	Thornthwaite-Mather	125
Eucaliptos, coníferas, latifoliadas nativas, salicáceas, seringueira.	Thornthwaite-Mather	300

**Fonte:** TUBELIS & NASCIMENTO, p. 302, 1988.

### 3.5 Manejo das irrigações via clima

Manejar as irrigações via clima consiste em repor a demanda atmosférica do dia ou de dias anteriores desde a última irrigação ou realizar balanço hídrico que considera todos os fluxos de água que entram e saem do volume de solo explorado pelas raízes. A irrigação e a precipitação são as componentes de entrada no balanço hídrico. Já as perdas por percolação profunda, escoamento superficial e consumo de água pelas plantas (evapotranspiração) são as componentes de saída. As perdas por escoamento superficial ou percolação profunda devem ser eliminadas com o manejo de água adequado. Portanto, para fins de controle do balanço hídrico restam às irrigações, as precipitações e a evapotranspiração (PIRES et al., 1999).

Para irrigar determinada área deve-se quantificar pela estimativa da lâmina de irrigação, para proporcionar umedecimento uniforme no solo até onde se concentram a maioria das raízes absorventes, a estimativa da lâmina de irrigação delimita o armazenamento de água do solo para uma dada situação e cultura (PIRES et al., 1999).

De acordo com Pires et al. (1999) o dimensionamento correto dos equipamentos é fundamental, pois afetam diretamente a capacidade de aplicação de água no sistema, Assim como na uniformidade de distribuição, evitando desperdícios. Para elaboração de projetos é necessário levantamento topográfico, estudo da disponibilidade e qualidade da água, determinações de parâmetros de solo e planta e, estimativa do consumo de água.

Com relação à estimativa de água, certos cuidados devem ser tomados, uma vez que a falta de dados mais elaborados de evapotranspiração leva à utilização de valores médios mensais, índices de valor reduzido para projetos de irrigação em condições de clima subtropical, podendo subestimar as necessidades de irrigação, por incluir em seu cálculo, as baixas evaporações dos dias chuvosos e nublados (PIRES et al. 1999).

Após a instalação e periodicamente com o tempo de uso do equipamento, é importante a avaliação da uniformidade de distribuição da água no campo a fim de que seja evitada a desuniformidade na qualidade e produção (PIRES et al. 1999).

Pires et al. (1999) afirmam o adequado manejo das irrigações tem por objetivo maximizar a produção agrícola racionalizando o uso de mão-de-obra, energia e água, evitando a ocorrência de problemas fitossanitários relacionados à aplicações excessivas ou deficientes de água e o desperdício de fertilizantes.

### 3.5. Classificação climática

Para compreender os diferentes tipos climáticos da terra a climatologia enfrenta os desafios de converter a grande massa de dados meteorológicos e climáticos disponíveis, que mudam nas diversas regiões da superfície da terra, estatisticamente ao avaliar os aspectos significativos do clima em relação a outras variáveis espaciais. Buscando solucionar esse problema, os estudiosos da atmosfera aplicam o princípio da classificação para expressar os diferentes agrupamentos das características da atmosfera sobre os distintos lugares do planeta (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007).

A primeira tentativa de síntese climática foi feita por Köppen, em 1918, pelo método empírico ou genérico, que consistia na observação dos elementos climáticos, como temperatura e precipitação, conforme a distribuição das porções vegetacionais de uma região (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007 apud MACHADO et al. 2012). A partir deste modelo simples, diversos tipos de classificação climática melhor elaboradas e com base em outras variáveis, foram construídos, como o de Thornthwaite-Mather.

O modelo de Thornthwaite-Mather se assemelha na utilização de métodos quantitativos e simbologias feitas por Köppen, mas se diferencia desse por não empregar valores absolutos de temperatura e umidade para a criação de categorias climáticas. Além disso, este modelo introduz, segundo Ayoade (1996), novos conceitos que determinarão as unidades climáticas: a evapotranspiração potencial, o balanço hídrico e o índice de umidade (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007 apud MACHADO et al. 2012).

Para determinação do tipo climático é necessário realizar os cálculos dos índices de hídrico, índice de aridez e índice umidade, sendo os resultados desses cálculos são analisados com base nas tabelas descritas pelo método Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955). As tabelas: Tabela 2 (índice de umidade), Tabela 3 (índice de aridez e umidade), Tabela 4 (índice térmico) e Tabela 5 (ETPs de verão e anual) são apresentadas a seguir para permitir a classificação climática (CUNHA & MARTINS, 2009).

**Tabela 2** - Classificação climática segundo Thornthwaite, baseados no índice de umidade (Ometto, 1981).

<b>Tipos Climáticos</b>	<b>Índice de Umidade (Iu) Thornthwaite &amp; Mather (1955)</b>
<b>A</b> – Super-úmido	$100 < Iu$
<b>B<sub>4</sub></b> - Úmido	$80 \leq Iu < 100$
<b>B<sub>3</sub></b> - Úmido	$60 \leq Iu < 80$
<b>B<sub>2</sub></b> - Úmido	$40 \leq Iu < 60$
<b>B<sub>1</sub></b> - Úmido	$20 \leq Iu < 40$
<b>C<sub>2</sub></b> – Sub-úmido	$00 \leq Iu < 20$
<b>C<sub>1</sub></b> – Sub-úmido seco	$-33,3 \leq Iu < 00$
<b>D</b> – Semi-árido	$-66,7 \leq Iu < -33,3$
<b>E</b> – Árido	$-100 \leq Iu < -66,7$

Fonte: Cunha e Martins, 2009.

**Tabela 3** - Classificação climática segundo Thornthwaite, baseados no índice de aridez e umidade (Ometto, 1981).

<b>Climas úmidos (A, B<sub>4</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>)</b>	<b>Índice de aridez (Ia)</b>	<b>Climas secos (C<sub>1</sub>, D e E)</b>	<b>Índice de umidade (Iu)</b>
r – pequena ou nenhuma deficiência de água	0 – 16,7	d – pequeno ou nenhum excesso de água	0 - 10
s – moderada deficiência no verão	16,7 – 33,3	s – moderado excesso de inverno	10 – 20
w – moderada deficiência no inverno	16,7 – 33,3	w – moderado excesso de verão	10 – 20
s <sub>2</sub> – grande deficiência no verão	> 33,3	s <sub>2</sub> – largo excesso de inverno	20
w <sub>2</sub> – grande deficiência no inverno	>33,3	w <sub>2</sub> – largo excesso de verão	20

Fonte: Cunha e Martins, 2009.

**Tabela 4** - Classificação climática segundo Thornthwaite, baseados no índice térmico (It) (Ometto, 1981).

<b>Tipos Climáticos</b>	<b>Índice de Umidade (It) (ETP anual)</b>
A' – megatérmico	$\geq 1.140$
B' <sub>4</sub> - mesotérmico	997 – 1.140
B' <sub>3</sub> - mesotérmico	855 – 997
B' <sub>2</sub> - mesotérmico	714 – 855
B' <sub>1</sub> - mesotérmico	570 – 712
C' <sub>2</sub> – microtérmico	427 – 570
C' <sub>1</sub> – microtérmico	285 – 427
D' – tundra	142 – 285
E' – gelo perpétuo	< 142

Fonte: Cunha e Martins, 2009.

**Tabela 5** - Classificação climática segundo Thornthwaite, baseados na relação entre ETP no verão e anual (Ometto, 1981).

<b>Concentração de ETP no verão (%)</b>	<b>Subtipo Climático</b>
< 48%	a'
48 – 51,9	b' <sub>4</sub>
51,9 – 56,3	b' <sub>3</sub>
53,3 – 61,6	b' <sub>2</sub>
61,6 – 68,0	b' <sub>1</sub>
68,0 – 76,3	c' <sub>2</sub>
76,3 – 88,0	c' <sub>1</sub>
>88,0	d'

Fonte: Cunha e Martins, 2009.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Local de realização do estudo

O município de São Domingos das Dores está localizado na região sudeste de Minas Gerais a 733 metros de altitude, sob as coordenadas 19° 31' 37" de Latitude Sul e 42° 00' 41" de Longitude Oeste, com população de 5.396 habitantes e área de 61 km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). A ocupação da microrregião é marcada por cultivos de café, alguns trechos da área em estudo são ocupados por lavouras temporárias, pastagens, sítios urbanos e sedes rurais.

A pluviosidade média anual da região é de aproximadamente 1.213 mm, as temperaturas médias anuais variam de 16,7 °C a 27,4°C de acordo com dados da estação Meteorológica das Fazendas Reunidas Laia & Souza (Figura 3), localizada na latitude 19°32'24,9''S, longitude 42°00'36,9''W e a 721 metros acima do nível do mar.

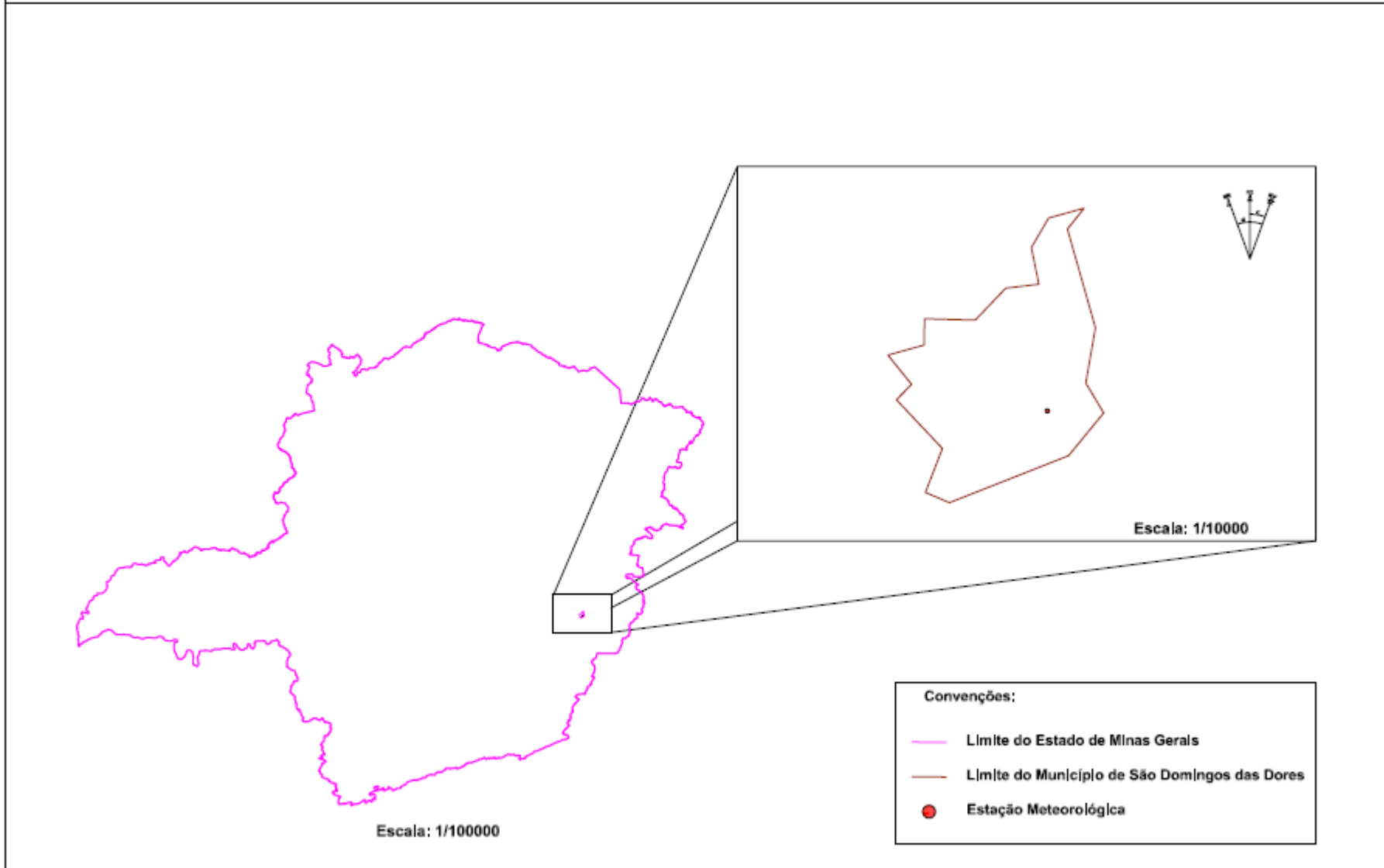
**Figura 3** – Estação meteorológica das Fazendas Reunidas Laia e Souza



**Fonte:** Autoria própria, jun. 2014.

O mapa de localização o município de São Domingos das Dores está representado na Figura 4, abaixo:

**Figura 4 - Localização do Município de São Domingos das Dores/MG**



Fonte: MIRANDA, 2005, Carta SE 23-Z-D-VI na escala de 1:250.000.

## 4.2. Balanço hídrico

Foram utilizados dados de temperatura média do ar e precipitação mensais durante o período de 2004 a 2013, uma série histórica de 10 anos de dados coletados pela estação Meteorológica das Fazendas Reunidas Laia & Souza (Figura 2).

A capacidade de água disponível no solo deve ser definida previamente e depende do solo e dos cultivos. De modo geral, usa-se 50 mm para os cultivos de ciclo curto e 125 mm para os cultivos permanentes (CPRM, 2002). O método de Thornthwaite-Mather utiliza a capacidade de armazenamento de água no solo de 125 mm para a cultura do café.

A evapotranspiração potencial, elemento principal para realização dos cálculos foi obtido na estação meteorológica e o método usado para cálculo desse índice foi o de Penman-Monteith (Monteith, 1973) recomendado pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) (Smith, 1991).

Foram utilizados dados de temperatura média do ar e precipitações mensais durante o período de 2004 a 2013, informações pelas quais se realizou o balanço hídrico pelo método de Thornthwaite-Mather (1955). Com base nos cálculos foram construídos gráficos resultantes dos valores obtidos na contabilidade hídrica para o período estabelecido, utilizando o software Microsoft Excel 2007.

### 4.2.1. Método de Thornthwaite-Mather, 1955

De acordo com Tomaz (2008) O balanço hídrico climatológico (BHC) foi desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955) para determinar o regime hídrico de um local, sem necessidade de medidas diretas das condições do solo. Para sua elaboração, houve a necessidade de se definir a capacidade de armazenamento de água no solo (que no caso desse estudo foi adotado com o valor de 125 mm), e de se ter a medida da chuva total, além de a estimativa da evapotranspiração potencial em cada período.

Com essas três informações básicas foram calculadas a diferença entre a precipitação e evapotranspiração potencial (P-ETP) (Equação 1); O negativo acumulado (NEG.AC); O valor do armazenamento (ARM) e a alteração do armazenamento (ALT).

$$\mathbf{P-ETP(n) = P(n) - ETP(n)} \quad \mathbf{(1)}$$

Onde:

**P-ETP:** diferença entre a precipitação e evapotranspiração potencial



**P:** precipitação

**ETP:** evapotranspiração potencial

**n:** mês de referencia do cálculo

Foi escolhido para inicio dos cálculos o mês de março, pois é o mês posterior ao valor em que  $P-ETP < 0$ , adotou-se o valor de 125 para ARM (mar) e o valor zero para o NEG.AC(mar). A acumulação dos valores negativos de (P-ETP) começou a partir de abril de acordo com a Equação 2.

$$\text{NEG.AC}(n) = \text{NEG.AC}(n-1) + P - \text{ETP}(n) \quad (2)$$

Onde:

**NEG.AC:** negativo acumulado

**P-ETP:** diferença entre a precipitação e evapotranspiração potencial

**n e n-1:** sequência de meses

Para resultados positivos na Equação 2 na tabela adotou-se valor zero.

Caso a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial seja maior que zero ( $P-ETP > 0$ ), têm-se na Equação 3, que:

$$\text{NEG.AC}(n) = \text{CAD} * \ln(\text{ARM}(n) / \text{CAD}) \quad (3)$$

Onde:

**NEG. AC:** negativo acumulado

**CAD:** capacidade de armazenamento do solo

**n:** mês de referência

Para o cálculo de ARM utilizou-se o método de Thornthwaite-Mather (1955) baseado na apresentação de Varejão-Silva (2005) e Pereira (2005) que usam a abordagem de Mendonça (1958). A grande vantagem do método é que não são necessárias tabelas e o cálculo pode ser feito usando uma planilha eletrônica do tipo Excel. Conforme a teoria desses autores, para uma seqüência de “n” meses com estiagem após a estação chuvosa, o armazenamento (ARMn) (Equação 4) ao longo desses meses será dado pela equação de Mendonça (1958) na forma condensada, ou seja:

$$\text{ARMn} = \text{CAD} * \exp(\text{NEG.AC} / \text{CAD}) = \text{CAD} * \exp(\sum (P - \text{ETP})_n / \text{CAD}) \quad (4)$$

Sendo:

**ARM<sub>n</sub>**= armazenamento no mês “n”.

**CAD**= armazenamento máximo no solo.

**P**= precipitação média mensal no mês “n” (mm).

**ETP**= evapotranspiração de referência no mês “n”

**NEG.AC**= somatório anual dos negativos acumulados até o mês “n”.

Para uma seqüência de dois meses (n=2) de P- ETP<0 para facilitar a demonstração e expandido a equação acima, temos as Equações de 5 a 8:

$$\mathbf{ARM_2 = CAD \times \exp \left( \frac{(P-ETP)_1 + (P-ETP)_2}{CAD} \right) = CAD \times \exp \left( \frac{(P - ETP)_1}{CAD} \right) \times \exp \left( \frac{(P - ETP)_2}{CAD} \right)} \quad (5)$$

Por definição:

$$\mathbf{CAD \times \exp \left( \frac{(P-ETP)_1}{CAD} \right) = ARM_1} \quad (6)$$

Resultando:

$$\mathbf{ARM_2 = ARM_1 \times \exp \left( \frac{(P-ETP)_2}{CAD} \right)} \quad (7)$$

Que para uma seqüência de n meses reduz-se à equação geral:

$$\mathbf{ARM_n = ARM_{n-1} \times \exp \left( \frac{(P-ETP)_n}{CAD} \right)} \quad (8)$$

Havendo um ou mais meses com P- ETP>0, mas com valores insuficientes para levar o ARM (Equação 9) até o valor de CAD, segue-se a rotina normal com:

$$\mathbf{ARM_n = ARM_{n-1} + (P - ETP)_n} \quad (9)$$

Mendonça (1958) e Pereira et al, (1997) fizeram algumas modificações e sugeriram que o valor de ARM (Equação 10) no fim do período chuvoso (março) seja dado por:

$$\mathbf{ARM = M / (1 - \exp(N/CAD))} \quad (10)$$

Sendo:

**ARM**= armazenamento no mês

**M**= somatório de (P - ETP) + em mm

**N**= somatório de (P - ETP) – em mm

Na prática calculou-se primeiro o ARM conforme Equação 10, para o mês de março e depois a Equação 8 para o mês de fevereiro e para o período de abril a outubro, uma vez que apresentam o  $P-ETP < 0$  e a Equação 9, quando  $P-ETp > 0$  (novembro, dezembro e janeiro). Nos meses em que os resultados dos cálculos de ARM apresentou-se maior que o CAD, atribui-se o valor máximo ao mesmo 125.

Para o cálculo da alteração do armazenamento utilizou-se da Equação 11:

$$ALT(n) = ARM(n) - ARM(n-1) \quad (11)$$

Sendo:

**ALT:** alteração de armazenamento

**ARM:** valor do armazenamento

**n e n-1:** sequência de meses

O balanço hídrico climático (BHC) permite deduzir a evapotranspiração real (ETR), a deficiência de água no solo (DEF) ou excedente de água (EXC), e o total de água retida no solo em cada período escoamento (ESC).

O cálculo da evapotranspiração real foi utilizado à Equação 12, nos casos em que o valor de  $P-ETP$  foi menor que zero.

$$ETR(n) = P(n) + |ALT(n)| \quad (12)$$

Sendo:

**ETR:** evapotranspiração real

**P:** precipitação

**ALT:** alteração de armazenamento

**n:** mês de referência

E nos demais meses onde  $P-ETP > 0$  foi adotado para ETR o valor de ETP.

Para o cálculo da deficiência hídrica foi utilizada a Equação 13:

$$DEF(n) = ETP(n) - ETR(n) \quad (13)$$

Onde:

**DEF:** deficiência hídrica

**ETP:** evapotranspiração potencial

**ETR:** evapotranspiração real

**n:** mês de referência

Para o cálculo do excesso de água no solo utilizou-se a Equação 14:

$$\mathbf{EXC(n) = P-ETP(n) - ALT(n)} \quad \mathbf{(14)}$$

Sendo:

**EXC:** excesso de água no solo

**P-ETP:** diferença entre a precipitação e evapotranspiração potencial

**ALT:** alteração de armazenamento

**n:** mês de referência

Os dados de precipitação e evapotranspiração foram inseridos em uma planilha no Excel para cálculo do balanço hídrico, e com o intuito de gerar os gráficos apresentados nos resultados.

### 4.3. Classificação climática

A classificação climática foi feita segundo o método proposto por Thornthwaite-Mather (1955), descrita em Cunha e Martins (2009), utiliza-se os dados obtidos no balanço hídrico, onde a partir dos valores anuais de excesso (EXC) e de deficiência (DEF) de água e da evapotranspiração (ETP) determinou-se o índice de aridez (Ia), o índice hídrico (Ih) e o índice de umidade (Iu) (Equações 16 a 18).

$$\mathbf{Ia = (DEF / ETP) * 100} \quad \mathbf{(16)}$$

Onde:

**Ia:** Índice de aridez (%)

**DEF:** deficiência hídrica

**ETP:** evapotranspiração potencial

$$\mathbf{Ih = (EXC / ETP) * 100} \quad \mathbf{(17)}$$

Onde:

**Ih:** Índice hídrico (%)

**EXC:** excesso de água no solo

**ETP:** evapotranspiração potencial

$$\mathbf{Iu = Ih - 0,6 (Ia)} \quad \mathbf{(18)}$$

**Iu:** Índice de umidade (%)

**Ih:** Índice hídrico

**Ia:** Índice de aridez

Com base nestes índices, determina-se o tipo climático local e a disponibilidade de água no solo interpretando as tabelas criadas Thornthwaite (1948) citadas por Cunha e Martins (2009), as quais contem as chaves de classificação climáticas.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Balanço hídrico

Sabe-se que a temperatura mínima e máxima do município do São Domingos das Dores é, respectivamente, 16,7 e 27,4 °C, por isso a média da temperatura anual é de 22,1°C, de acordo com a Tabela 6. Segundo Thomaziello et al., (2000) o cafeeiro arábica se desenvolve bem em regiões cujos limites de temperaturas médias anuais do ar se encontram entre 18 e 22°C, estando o município estudado, quanto a esse parâmetro, dentro das condições para produção do café arábica, porém já extrapolando o limite máximo estabelecido.

**Tabela 6** – Histórico da temperatura mínima, máxima e média (°C)

Ano	JAN		FEV		MAR		ABR		MAI		JUN	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
<b>2004</b>	20,0	27,7	19,4	27,8	18,6	28,1	18,2	27,1	16,1	25,3	13,6	24,9
<b>2005</b>	20,4	29,2	19,0	29,0	20,7	28,6	18,7	28,6	15,6	26,3	13,7	24,6
<b>2006</b>	18,7	30,1	20,0	32,3	19,4	28,9	17,3	27,3	13,2	25,3	12,4	23,8
<b>2007</b>	19,7	28,3	18,9	28,4	18,0	30,3	17,5	28,1	13,2	26,0	12,5	25,9
<b>2008</b>	19,2	28,2	19,3	30,0	19,0	29,5	18,6	29,0	14,5	26,5	13,4	25,9
<b>2009</b>	19,6	28,8	20,1	29,7	19,9	29,3	17,5	27,3	14,9	25,9	13,9	24,5
<b>2010</b>	20,1	31,8	20,4	31,9	19,7	30,6	16,9	28,2	14,6	26,4	10,9	25,0
<b>2011</b>	19,7	30,2	19,7	32,0	19,4	28,8	17,7	28,5	13,7	26,2	12,5	25,4
<b>2012</b>	18,8	30,2	17,8	33,1	17,7	30,2	17,2	27,5	14,5	23,8	13,4	24,5
<b>2013</b>	19,5	28,2	18,6	28,6	19,4	27,7	16,6	25,0	14,0	23,7	13,3	23,2
<b>MED.</b>	<b>19,6</b>	<b>29,3</b>	<b>19,3</b>	<b>30,3</b>	<b>19,2</b>	<b>29,2</b>	<b>17,6</b>	<b>27,7</b>	<b>14,4</b>	<b>25,5</b>	<b>13,0</b>	<b>24,8</b>
<b>Histórico</b>	<b>24,4</b>		<b>24,8</b>		<b>24,2</b>		<b>22,6</b>		<b>20,0</b>		<b>18,9</b>	

Ano	JUL		AGO		SET		OUT		NOV		DEZ		Média
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
<b>2004</b>	13,0	24,3	13,6	27,3	14,6	29,1	18,8	28,4	19,4	29,2	19,9	28,3	<b>22,2</b>
<b>2005</b>	11,9	24,6	15,2	26,6	16,6	26,4	18,3	30,2	18,5	26,3	18,2	27,5	<b>22,3</b>
<b>2006</b>	11,0	25,7	14,1	26,7	14,9	26,3	18,0	26,5	18,0	26,4	19,1	27,6	<b>21,8</b>
<b>2007</b>	12,7	25,7	13,6	26,8	15,7	27,3	18,4	30,1	19,3	29,1	19,6	29,8	<b>22,3</b>
<b>2008</b>	11,3	26,0	14,6	28,6	15,6	27,4	18,9	29,5	19,0	27,5	19,5	27,3	<b>22,4</b>
<b>2009</b>	13,7	25,7	14,8	26,6	17,4	28,5	18,8	28,2	19,4	29,4	20,1	28,4	<b>22,6</b>
<b>2010</b>	13,2	26,1	12,0	27,0	15,5	29,3	17,8	27,3	19,3	27,6	19,6	29,9	<b>22,5</b>
<b>2011</b>	11,6	25,9	13,5	28,6	17,0	28,3	16,9	25,7	16,7	25,7	19,2	26,6	<b>22,1</b>
<b>2012</b>	11,7	24,3	14,0	23,4	13,8	26,7	16,4	28,5	18,5	25,8	19,6	30,1	<b>21,7</b>
<b>2013</b>	12,2	23,2	11,8	24,3	14,4	25,0	15,7	24,2	17,5	25,6	19,0	26,5	<b>20,7</b>
<b>MED.</b>	<b>12,2</b>	<b>25,2</b>	<b>13,7</b>	<b>26,6</b>	<b>15,6</b>	<b>27,4</b>	<b>17,8</b>	<b>27,9</b>	<b>18,6</b>	<b>27,3</b>	<b>19,4</b>	<b>28,2</b>	
<b>Histórico</b>	<b>18,7</b>		<b>20,2</b>		<b>21,5</b>		<b>22,8</b>		<b>22,9</b>		<b>23,8</b>		<b>22,1</b>

FONTE: Estação meteorológica Fazendas Reunidas Laia & Souza, 2014.

Sob o ponto de vista de Assad et al. (2001) a temperatura média anual para o cafeeiro deve estar entre 18°C e 23°C, como a temperatura média anual nesse estudo é de 22,1 °C, isso significa que a área é apta para produção do café.

Nos anos de 2004, 2007 e 2009 as temperaturas médias em novembro, mês que tem superaram a 24° C, nessas condições problemas de frutificação por abortamento das flores podem ter ocorrido. As temperaturas elevadas na estação do florescimento podem ter dificultado as floradas e provocado a formação das estrelinhas, o que pode ter acarretado a quebra de produção.

A precipitação média anual do período em estudo foi de 1.213,2 mm como mostra a Tabela 7, sendo que nos meses de outubro a março concentraram-se 1.026,1 mm (85%) desse total. O período de abril a setembro apresentou uma precipitação de 187,1 mm. No período de vegetação e frutificação houve disponibilidade de água, conforme pode ser observado através dos índices pluviométricos, na fase de colheita e repouso, a exigência é menor, havendo maior deficiência hídrica sem grandes prejuízos para a planta.

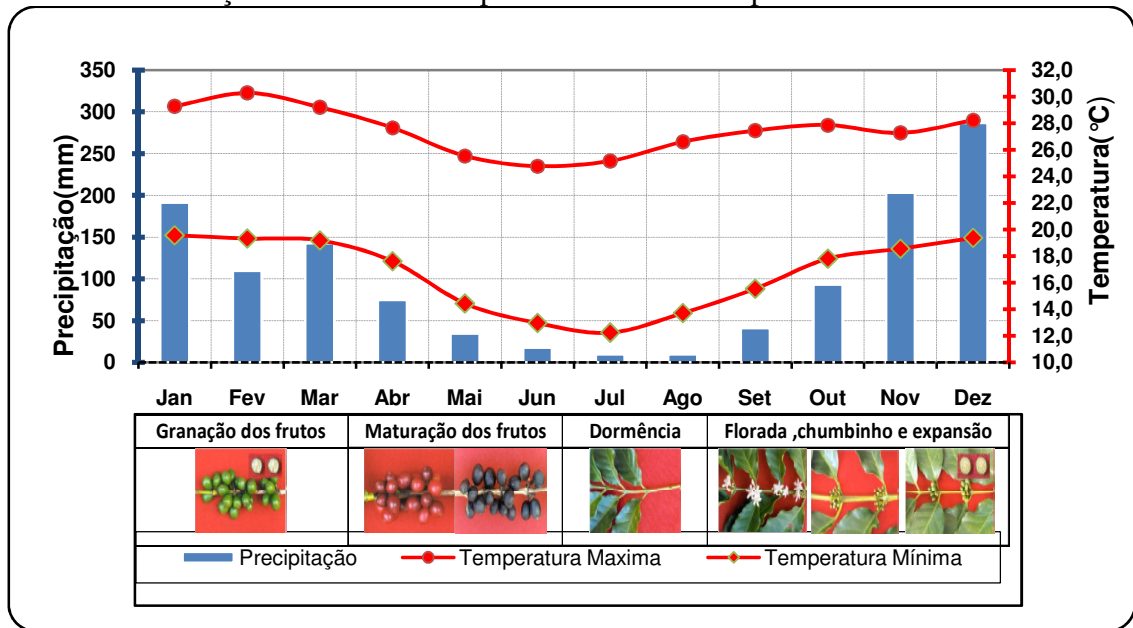
**Tabela 7**– Índice pluviométrico (mm)

<b>Ano/Mês</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Total</b>
<b>2004</b>	334,9	182,1	112,8	114,9	27,2	34,0	38,8	0,0	0,8	39,7	108,0	417,9	1411,1
<b>2005</b>	259,2	329,9	196,5	61,5	62,1	17,6	14,7	5,5	67,9	73,9	254,2	201,1	1544,1
<b>2006</b>	58,2	28,8	236,5	105,4	22,0	0,0	2,2	0,0	87,5	134,4	146,1	246,5	1067,6
<b>2007</b>	240,5	78,5	70,5	23,0	5,0	0,0	16,0	5,5	22,0	47,0	204,5	113,5	826,0
<b>2008</b>	179,5	127,0	95,5	71,0	22,0	23,0	5,0	22,5	20,5	82,0	197,5	332,5	1178,0
<b>2009</b>	260,5	125,5	240,0	106,0	9,0	57,5	0,0	13,0	92,0	218,0	127,0	272,0	1520,5
<b>2010</b>	24,5	40,0	210,5	50,0	50,0	0,0	6,0	1,0	40,0	78,0	235,5	312,5	1048,0
<b>2011</b>	141,0	92,8	113,6	65,7	7,3	17,5	2,2	3,3	11,4	114,3	235,0	379,1	1183,2
<b>2012</b>	220,3	24,0	60,5	38,6	98,6	13,2	6,6	30,8	20,2	24,2	311,2	90,8	939,0
<b>2013</b>	194,2	65,6	90,2	110,2	40,0	15,2	3,4	15,2	49,0	119,0	210,6	501,8	1414,4
<b>MED</b>													
<b>04/13</b>	<b>191,3</b>	<b>109,4</b>	<b>142,7</b>	<b>74,6</b>	<b>34,3</b>	<b>17,8</b>	<b>9,5</b>	<b>9,7</b>	<b>41,1</b>	<b>93,1</b>	<b>203,0</b>	<b>286,8</b>	<b>1213,2</b>

FONTE: Estação meteorológica Fazendas Reunidas Laia & Souza, 2014.

Tendo como base a pluviosidade, a fase de florescimento do café ocorre logo após o início das chuvas, que começa em setembro, porém como a partir de outubro as chuvas são mais regulares a floração é mais comum a partir do mês de outubro se estendendo até novembro, uma vez que nessa fase a exigência hídrica do cafeeiro para abertura das flores é maior para promoção do choque hídrico e dilatação das gemas maduras.

Com relação à precipitação média o mês de maior pluviosidade ocorreu em dezembro 286,8 mm e o de menor foi o mês de julho 9,5 mm. Relacionando a precipitação e a temperatura (Gráfico 1), observa-se, que de outubro a março caracteriza-se o período chuvoso e quente e dos meses de abril a setembro um período de seco e frio.

**Gráfico 1** – Relação entre os índices pluviométricos e temperaturas mínimas e máximas.

Fonte: Ferreira, jun. 2014.

Para a cultura do café arábica foi constatado que a precipitação média anual é suficiente, uma vez que Matiello (1991) afirma que as chuvas anuais de 1.200 mm podem ser consideradas adequadas ao bom desenvolvimento do café arábica.

Os resultados do balanço hídrico climático do município de São Domingos das Dores - MG correspondente aos meses de janeiro de 2004 a dezembro de 2013, estão apresentados na Tabela 8, utilizando CAD de 125 mm.

**Tabela 8** – Balanço hídrico climatológico pelo método de Thornthwaite e Mather (1955).

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	P	ETP	P-ETP	NEG.AC	ARM	ARM	ETR	DEF	EXC
	(mm)	(mm)	(mm)		VAL(mm)	ALT(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
JAN	191,3	127,4	63,9	0,0	125,0	0,0	127,4	0	63,9
FEV	109,4	121,9	-12,5	-12,5	113,1	-11,9	121,3	0,6	0
MAR	142,7	110,2	32,5	0,0	125,0	11,9	110,2	0,0	20,6
ABR	74,6	87,4	-12,8	-12,8	112,83	-12,17	86,8	0,6	0
MAI	34,3	72,5	-38,1	-51,0	83,12	-29,71	64,0	8,5	0
JUN	17,8	61,6	-43,8	-94,8	58,55	-24,57	42,4	19,2	0
JUL	9,5	70,7	-61,2	-156,0	35,88	-22,67	32,2	38,5	0
AGO	9,7	90,6	-80,9	-236,9	18,79	-17,10	26,8	63,8	0
SET	41,1	104,7	-63,6	-300,5	11,29	-7,49	48,6	56,1	0
OUT	93,1	113,9	-20,8	-321,3	9,56	-1,73	94,8	19,1	0
NOV	203,0	108,5	94,5	-22,9	104,06	94,50	108,5	0,0	0
DEZ	286,8	118,3	168,5	0,0	125,0	20,94	118,3	0,0	147,6
Anual	1.213,2	1.187,7	25,6		922	0,0	981,2	206,5	232,1

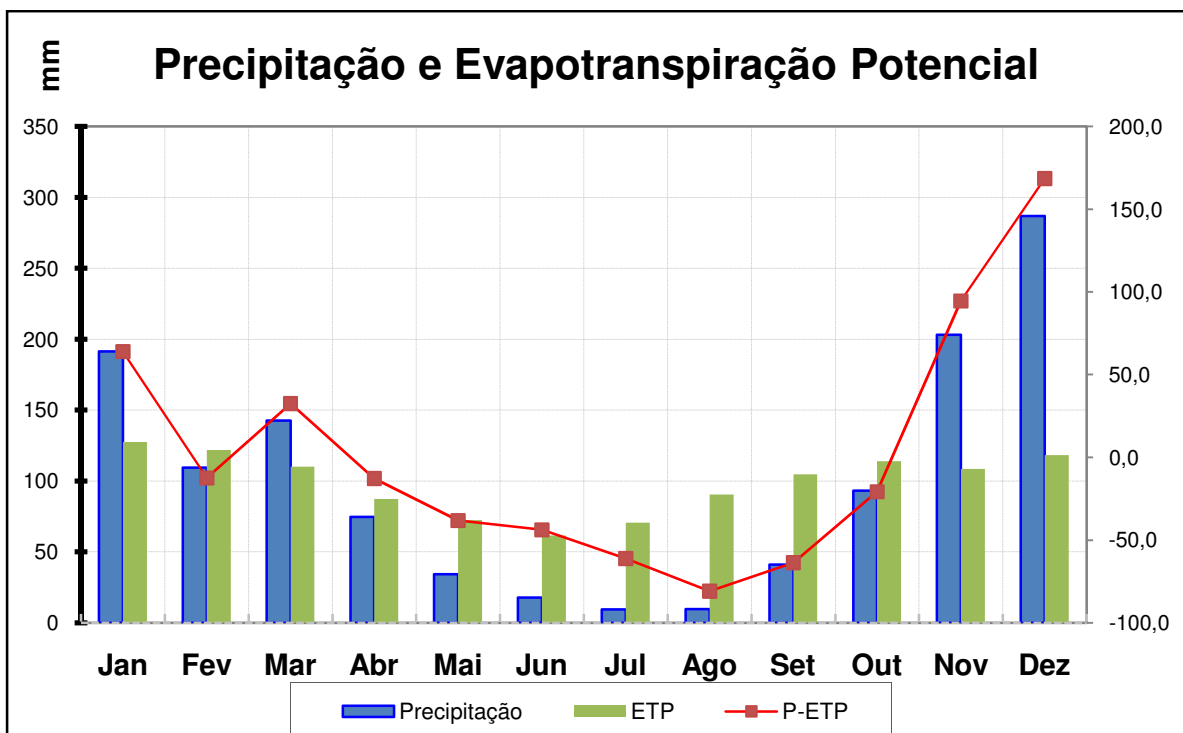
Fonte: Ferreira, jun. 2014.



O cafeeiro para vegetar e frutificar normalmente necessita encontrar umidade suficiente no solo durante o período vegetativo e frutificação. Para que haja o suprimento hídrico adequado os índices pluviométricos devem ser maiores que a evapotranspiração potencial, por isso pode-se perceber que nos meses de novembro, dezembro, janeiro e março, os valores da precipitação superaram a evapotranspiração potencial (ETP), o que é positivo para o período que é de formação e granação dos grãos.

A média da evapotranspiração anual foi de 1.187,7 mm apresentando o mês de janeiro seu maior valor (127,4 mm) e o mês de junho seu menor valor (61,6 mm). Os valores levantados a partir da diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial (P-ETP) estão representados juntamente com a P e ETP no Gráfico 2. O superávit do P-ETP abastece o solo até a sua saturação, constituído assim um excedente, que por sua vez percolará ou escoará para os cursos d'água. O superávit da precipitação sobre a evapotranspiração ocorreu nos meses de janeiro com 63,8 mm, março 32,5 mm, novembro 94,5 mm e dezembro 168,5 mm.

**Gráfico 2 – Relação entre os índices pluviométricos e ETP**



Fonte: Ferreira, jun. 2014.

Os mais discrepantes valores de P-ETP ocorreram nos meses de agosto e setembro, onde apresentaram déficits de 80,9 mm e 63,6 mm respectivamente, esta situação indica que a precipitação não foi suficiente para suprir a evapotranspiração potencial, desta forma a água

armazenada no solo foi utilizada pelos vegetais a partir do momento que este armazenamento chegou a zero resultando na deficiência hídrica.

No período de julho-setembro, a umidade do solo se reduz bastante, sendo estes os meses de maior deficiência hídrica, período que estará ocorrendo à colheita e iniciando o abotoamento da planta. Por meio das deficiências hídricas calculadas nesse estudo constatou-se que o somatório das deficiências hídricas mensais geram uma deficiência hídrica anual de 206,5 mm valor superior a 150 mm, o que leva a concluir que a prática de irrigação suplementar é necessária, principalmente nas fases em que o estresse hídrico pode causar prejuízos na produção, tais como a florada, chumbinho, expansão dos frutos de setembro a dezembro e a granação de janeiro a março.

A ocorrência da deficiência hídrica no período seco é importante para o crescimento das raízes, para a maturação dos ramos formados na estação chuvosa precedente, para a diferenciação floral e maturação dos frutos. Sendo ela desejável após a granação, ou seja, durante os períodos de maturação (abril: 0,6 mm, maio: 8,5 mm e junho: 19,2 mm) e de repouso vegetativo (julho: 38,5 mm e agosto: 63,8 mm) quando se inicia a formação das gemas florais da próxima safra. Na colheita (maio a agosto) a umidade do solo diminuiu, sem grandes problemas para a cafeicultura. Porém, se o período de seca se prolonga ou ocorre durante os meses de florescimento e frutificação, são observadas quebras de produtividade do cafeeiro.

Como pode ser observado e conforme citações de Silveira & Carvalho (1996 apud MARTINS et al., 2007), no período seco e de temperatura mais amena, as taxas de crescimento e de evapotranspiração do cafeeiro são baixas, enquanto que no período chuvoso e de temperaturas mais elevadas, porém não extremas, as taxas de crescimento e de evapotranspiração são mais elevadas.

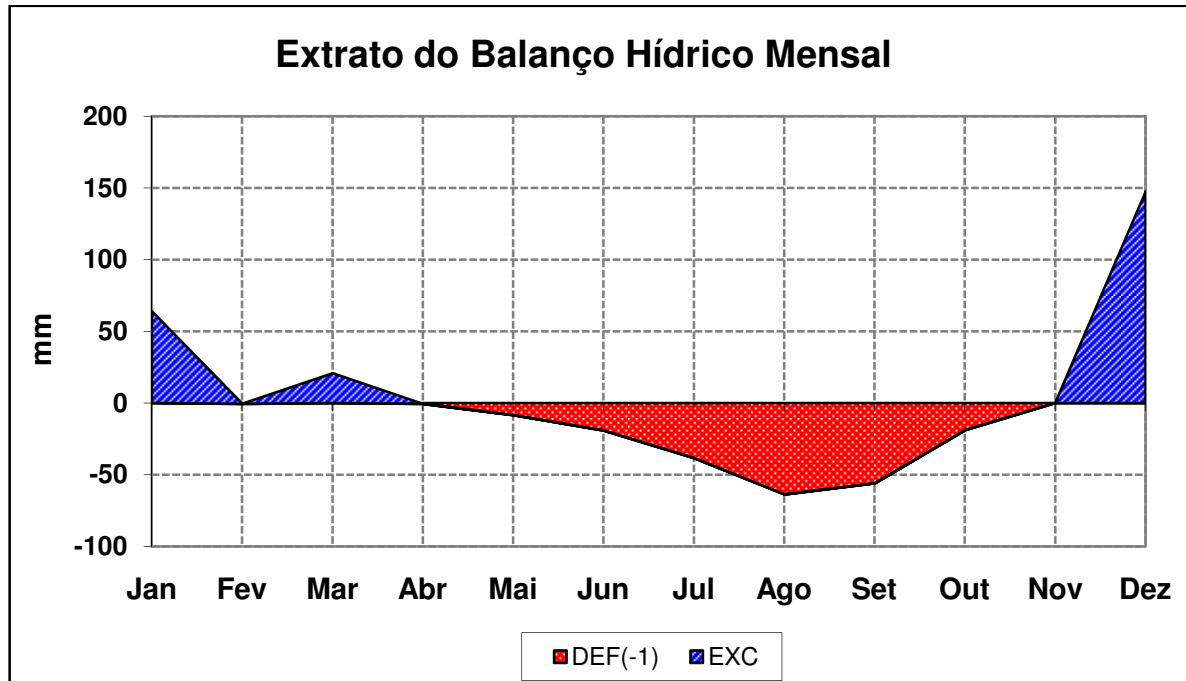
Apenas três meses do ano apresentam excedente hídrico dezembro com 147,6 mm, janeiro com 63,9 mm e março com 20,6 mm, apesar de que no mês de novembro também não houve deficiência hídrica.

Dezembro é o último mês em que é formado o chumbinho em seguida vem o enchimento dos grãos, a qualidade dos grãos dependem diretamente da água nesse período. Se houvesse falta d'água durante a granação, os frutos ficariam chochos. Portanto, suprimento hídrico inadequado nessas fases resultaria na perda de produção.

No mês de fevereiro a DEF apresenta apenas 0,6 mm, valor muito próximo aos encontrados nos períodos em que a precipitação foi maior que a evapotranspiração potencial.

E nos demais meses ocorreram DEF variando de 0,6 mm em abril a 63,8 mm em agosto, conforme o extrato do balanço hídrico mensal (Gráfico 3).

**Gráfico 3 – Extrato do balanço hídrico mensal**

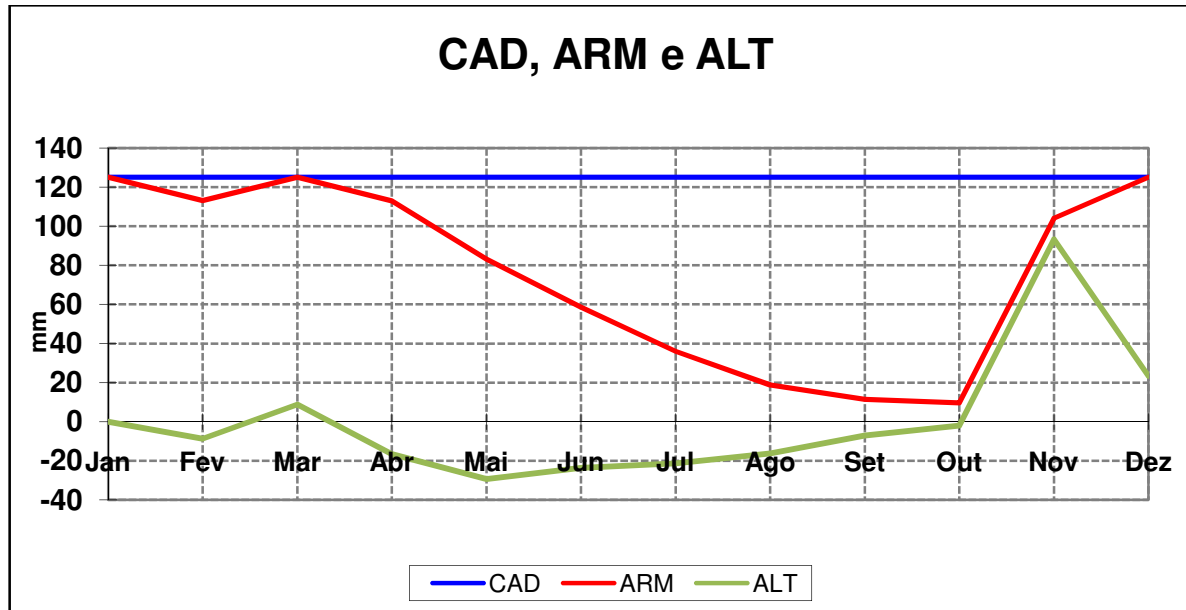


Fonte: Ferreira, jun. 2014.

O resultado do armazenamento residual dos valores dos negativos acumulados foi zero nos meses de janeiro, março e dezembro, pois o valor do armazenamento atingiu o seu ápice, os demais meses o negativo acumulado ficou entre -12,5 mm (fevereiro) e -321,3 mm (outubro). Sendo que no mês outubro o valor teve influência do déficit acumulado no período de abril a setembro.

O armazenamento de água no solo ocorreu em todos os meses, variando do menor índice no mês de outubro com 9,56 mm para os maiores índices, com 125 mm nos meses de janeiro, março e dezembro, como demonstra o Gráfico 4. E apenas três meses apresentaram variação positiva no armazenamento de água no solo: março (11,9 mm), novembro (94,50 mm) e dezembro (20,94 mm) e o mês que apresentou o maior déficit foi maio (-29,71 mm).

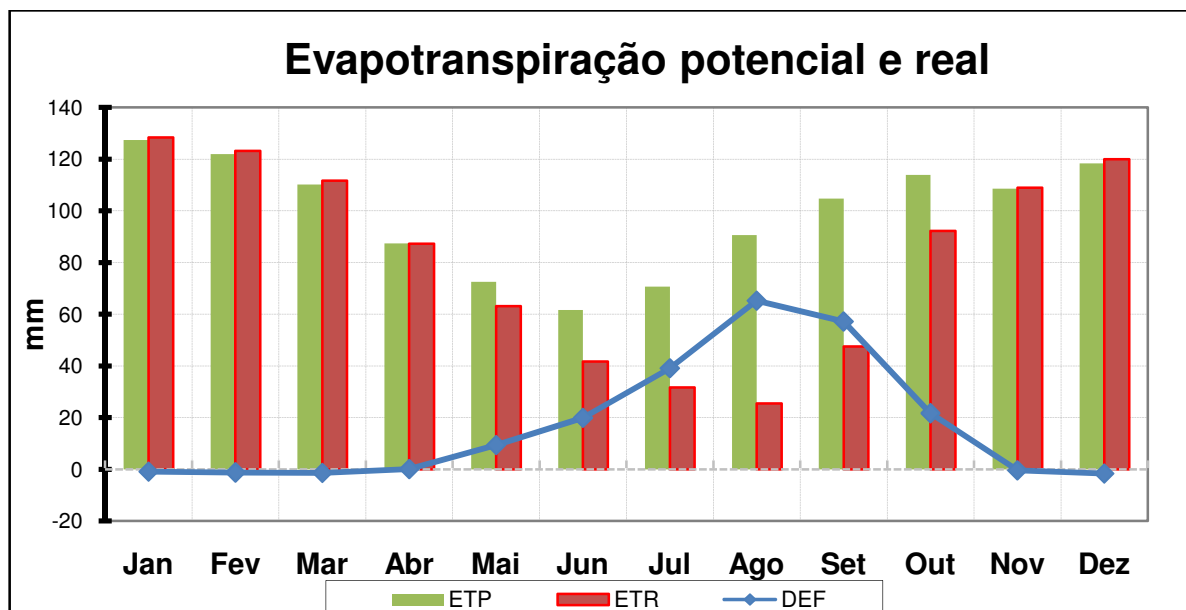
Gráfico 4 – Capacidade de armazenamento de água no solo



Fonte: Ferreira, jun. 2014.

Nos meses de janeiro, março, novembro e dezembro a evapotranspiração (ETP e ETR) obtiveram os mesmos valores. E nos meses de fevereiro, abril, maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro a ETR ficou abaixo da ETP. Tendo o mês de agosto o menor índice de ETR (26,8 mm) e a maior deficiência de água do período (63,8). Os meses em que a ETP se aproxima da ETR pode-se perceber que o nível de DEF se mantém constante, à medida que ETR diminui maior é a deficiência (Gráfico 5).

Gráfico 5 – Relação entre evapotranspiração: potencial e real.



Fonte: Ferreira, jun. 2014.

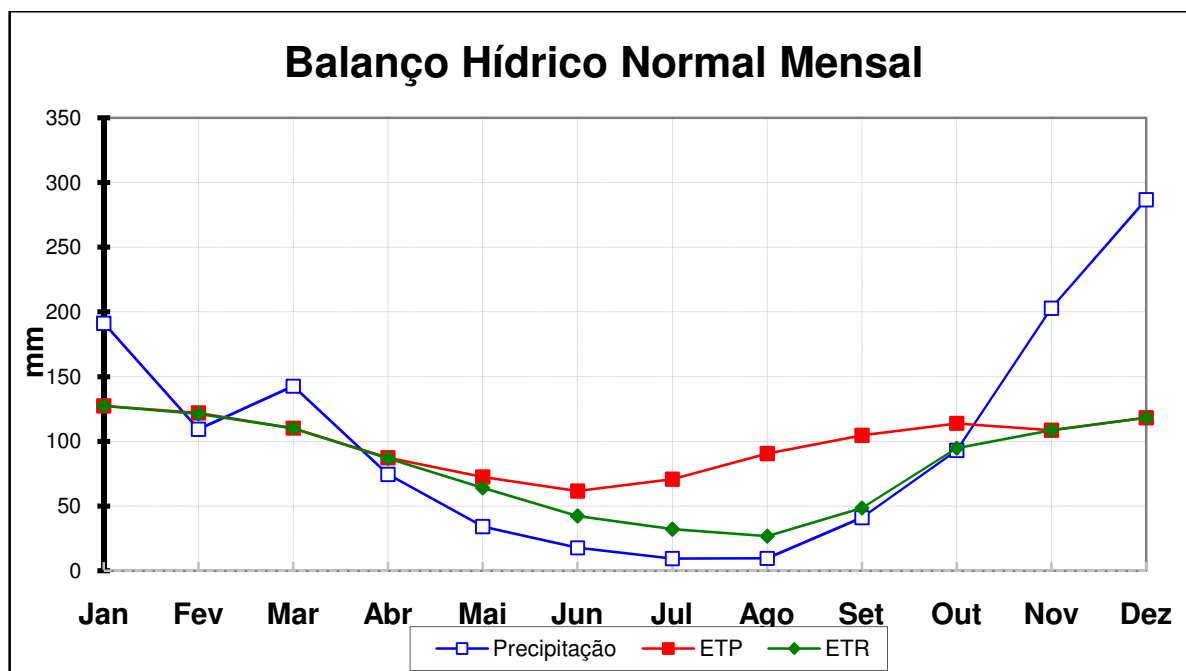
O volume total da evapotranspiração verificada no período foi de apenas 1.187,7 mm, foi um resultado positivo e assim distribuído durante o ciclo do café: 30% na fase de maturação e colheita (abril a agosto), 32% no florescimento (setembro a dezembro) e 38 % na frutificação (janeiro a março).

Para entender bem o valor da informação relativa à ETR na produção vegetal é necessário contextualizar suas relações no sistema solo-planta-atmosfera. Existe uma influência dos fatores ambientais na ETP, no entanto para a ETR o principal fator de influência é a disponibilidade de água no solo, cuja redução provoca um decréscimo da evapotranspiração a partir de um teor crítico de umidade no perfil, que na maioria dos casos estão entre 25 a 35% da água extraível (Andrade et al., 1991).

Portanto, analisando conjuntamente os fatores precipitação, armazenagem e evapotranspiração, verifica-se que a distribuição das chuvas atendeu parte da demanda da ETR tendo em vista que os valores calculados se apresentaram próximos.

O balanço hídrico normal mensal apresentado no Gráfico 6, demonstra queda da evapotranspiração potencial nos meses de janeiro a junho, e no período de julho a dezembro a ETP aumenta gradualmente ao longo dos meses, com exceção do mês de novembro que apresentou queda. No período de maior pluviosidade de outubro a março houve maior ETP e ETR, em relação aos meses do inverno.

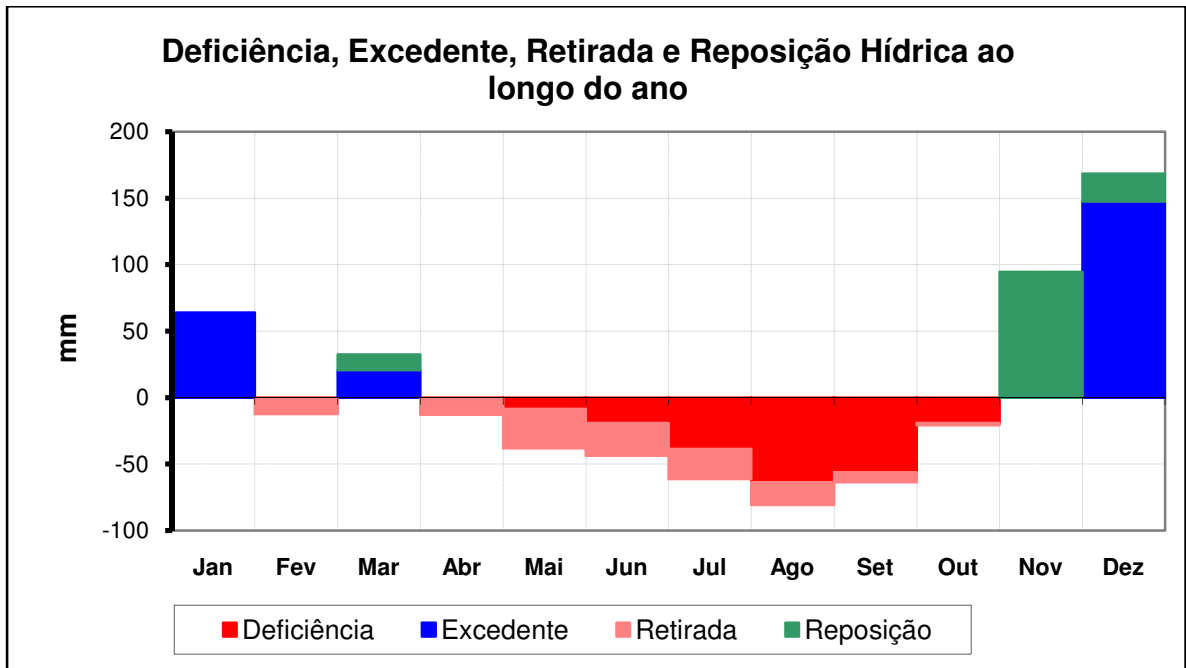
**Gráfico 6 – Balanço hídrico normal mensal**



Fonte: Ferreira, jun. 2014.

No Gráfico 7, constatou-se um aumento da deficiência nos meses de abril a setembro e que em outubro (início do período chuvoso) as chuvas ainda não são suficientes para suprir a necessidade hídrica do solo e o mês de novembro se caracteriza pela reposição. Os meses de dezembro, janeiro, março tem-se um excedente de água no solo.

**Gráfico 7** – Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica ao longo do ano.



Fonte: Ferreira, jun. 2014

## 5.2 Classificação climática

A classificação climática segundo Thornthwaite-Mather para São Domingos das Dores – MG é do tipo C2 (Sub-úmido  $I_u = 9,11\%$ ), o subtipo climático em função de  $I_h$  e  $I_a$  é o “w” com moderada deficiência de água no inverno, o tipo climático em função do índice térmico é A’, classificado como megatérmico ( $ETP = 1187,7$  mm). O subtipo climático em função do índice térmico é o  $b'_2$ , uma vez que a evapotranspiração potencial observada durante a estação do verão representa 59% do total anual. A classificação climática para o município de São Domingos das Dores está representada na Tabela 9, abaixo:

**Tabela 9** – Classificação climática de Thornthwaite-Mather (1955) do município de São Domingos das Dores - MG.

<b>Iu</b>	<b>Ia</b>	<b>Ih</b>	<b>Tipo climático em função de Iu</b>	<b>Subtipo climático em função de Ih e Ia</b>	<b>Tipo climático em função da ETP anual</b>	<b>Subtipo climático em função de ETP(verão)/ETP anual</b>
9,11	17,39	19,54	C <sub>2</sub>	w	A'	b' <sub>2</sub>

**Fonte:** Ferreira, jun. 2014

Assim sendo, o clima de São Domingos das Dores - MG pode ser definido pela seguinte fórmula: C<sub>2</sub>wA'b'<sub>2</sub>. De forma resumida o clima pode assim ser descrito: Clima Sub-úmido, com duas estações bem definidas (uma chuvosa e a outra seca), apresenta durante a estação seca (inverno) moderada deficiência hídrica, megatérmico com elevados valores anuais de evapotranspiração potencial, sendo que 59% da ETP se concentra no verão.

## 6. CONCLUSÕES

O município de São Domingos das Dores apresentou a classificação climática clima sub-úmido ( $C_2wA'b'_2$ ) na qual apresenta duas estações bem definidas o verão quente e úmido e o inverno frio e seco, com moderada deficiência hídrica.

A temperatura média do município é de 22,1 °C, e a pluviosidade média anual é de 1.213,2 mm, por isso, dentro dos parâmetros pré-estabelecidos na literatura citada, pode-se inferir que a área está apta para o cultivo do café.

Os cálculos do balanço hídrico permitiram avaliar que os meses que ocorreram déficits significativos concentraram-se de maio a outubro, apesar de outubro ser um mês com precipitação média de 93,1 mm, a deficiência é resultado do período seco que antecedeu o início das chuvas.

As precipitações que superaram os 100 mm ocorreram nos meses de novembro a março, período em que estarão ocorrendo à florada, formação do chumbinho, expansão e granação dos frutos, nessas fases a disponibilidade de água no solo é de grande importância para a produção de qualidade. Nesse período os meses de novembro, dezembro, janeiro e março apresentaram precipitação superior a evapotranspiração, destes dezembro, janeiro e março tiveram excedente.

A reposição hídrica começa no mês de novembro, mês em que o déficit já terá sido suprimido de acordo com o regime de chuvas. No mês de fevereiro, apesar de estar inserido no período chuvoso, foi constatado a retirada de água no solo, havendo uma pequena deficiência, situação de pequeno estresse hídrico, não podendo causar danos consideráveis a granação.

Entretanto, a deficiência hídrica média anual da região é de 206,5 mm, nessas condições o indicado seria adequar o suprimento de água aos cafeeiros, através do uso da irrigação suplementar na 3ª fase do ciclo fenológico do café arábica com o intuito de melhorar a produtividade e qualidade do café arábica.

A irrigação das lavouras deve ser manejada, baseando-se nos métodos de estimativa da evapotranspiração potencial, e nas reais necessidades da cultura para que não haja superdimensionamento, causando desperdício de água, perda de solo e nutrientes e até mesmo salinização do solo. É preciso levar em conta também a disponibilidade de água da região antes de definir se o cultivo é viável. Dentre essas e outras peculiaridades da cultura a realização do balanço hídrico é uma importante ferramenta para tomada de decisões em relação à cultura.



A importância do Balanço hídrico é também o planejamento agrícola, identificando as áreas aptas, a época mais favorável de semeadura, etc.

## REFERÊNCIAS

- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Tradução de Maria Juraci Zani dos Santos. 10<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 13<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.
- ARRUDA, F. B.; IAFFE, A.; WEILL, M. A. et al. Resultados do consumo de água e do coeficiente de cultura do cafeeiro a partir do controle da umidade do solo em Pindorama. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Calda. **Anais...** Poços de Caldas, 200. P.775-778.
- ASSAD, E. D. et al. Zoneamento agroclimático para a cultura de café (*Coffea arabica* L.) no estado de Goiás e sudoeste do estado da Bahia. **Embrapa**. Comunicado técnico, Planaltina, n.36, 2000, p.6.
- ASSAD, E. D. et al. Zoneamento agroclimático para a cultura de café (*Coffea arabica* L.) no estado de Goiás e sudoeste do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Passo Fundo, RS, v.9, n.3, p.510-518, 2001.
- CAMARGO, A. P. de (1985) O clima e a cafeicultura no Brasil. **Revista Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, MG, v. 11, n. 126, 1985, p.13-26.
- CAMARGO, A. P. de; PEREIRA, A. R. **Agrometeorology of the coffee crop**. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, 1994. 42p.
- CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.
- CARAMORI, P.H. et al. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de café (*Coffea arabica* L.) no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, p.486- 494, 2001.
- CIAGRO - CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS. **Fenologia do cafeeiro**. São Paulo, SP., 2008. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/monitoramentocafe/Fenologia.htm>. Acessado em: 23 jun. 2014.
- CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Balanco hídrico**. 2002. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/arquivos/pdf/ps/clima/clima\\_balanco.pdf](http://www.cprm.gov.br/arquivos/pdf/ps/clima/clima_balanco.pdf)>. Acesso em: 13 jun. 2013
- CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, janeiro-março, 2009.
- D`ANGIOLELLA, G. L. B.; CASTRO NETO, M. T.; COELHO E. F. Caracterização climática dos tabuleiros costeiros do Recôncavo Baiano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 7., Cruz das Almas. **Anais...** Cruz das Almas, BA, 1998.

DIAS, T. M. O. et al. Aplicações do balanço hídrico climático a partir da utilização da planilha eletrônica. In: REUNIÓN ARGENTINA, 10., Barreiras. **Anais...** Barreiras, BA, v. 2, 2004.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F.; BRAGANÇA, S. M.; FERRÃO, M. A. G; MUNER, L. H. (Eds.) **Café Conilon**. Vitória, INCAPER, 2007. 702p. **Geographical review**, v. 38, n. 1, 1948, p. 55-94.

GOUVEIA, N. M. **Estudo da diferenciação e crescimento das gemas florais de Coffea arabica L.**: observações sobre antese e maturação dos frutos. Dissertação (Mestrado em Biologia) – Instituto de Biologia, Campinas: UNICAMP, 1984. 237 p.

HAARER, A. E. **Modern coffee production**. Lonodon: Leonard Hill. 1962. 945p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010 - Resultados do universo**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 23 out. 2012.

KÖPPEN, W. **Das Geographische System der Klimatologie**. Berlin, 1936. 44 p.

MACHADO, F. L. V. et al. Modelos de classificações climáticas: estudo de caso no município de Cuiabá (MT). **Revista Geonorte**, 2. ed., v.2, n.5, p.1455 – 1467, 2012.

MARTINS, C. A. S. et al. Balanço Hídrico da cultura do café Conilon nas condições edafoclimáticas do município de Ecoporanga-ES. **Revista Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, GO, v.7, n.12. p.02, Jun. 2011.

MARTINS, C. C.; SOARES, A. A.; BUSATO, C.; REIS, E. F. dos. Manejo da irrigação por gotejamento no cafeeiro (Coffearabica L.). **BioscienceJournal**. Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 61-69, Abr./Jun. 2007.

MATIELLO, J. B. **O café: do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, 1991. 320p.

MEIRELES, E. J. L. et al. **Condições agrometeorológicas e fenológicas do cafeeiro arábica nas regiões Sul e Alto Paranaíba do estado de Minas Gerais no período de 2002-2004**. Viçosa, MG, 2005. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/49973/1/Condicoesagrometeorologicas.pdf>> Acessado em 13 de jun. 2013.

MEIRELES, E. J. L. **Fenologia do Cafeeiro: condições agrometeorológicas e balanço hídrico do ano agrícola 2004–2005**, Brasília, DF, 2009.

MEIRELES, E. J. L.; VOLPATO, M. M. L.; GARCIA, A. L. A. Balanço hídrico dos anos agrícolas 2008/2009 e 2009/2010 para áreas cafeeiras no município de Patrocínio, MG. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 7., Araxá. **Anais...** Araxá, MG, 2011.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

- MENDONÇA, P.V. Sobre o novo método de balanço hidrológico do solo de Thornthwaite-Mather. In: CONGRESSO LUSO-ESPANHOL PARA O PROGRESSO DAS CIÊNCIAS, 24., Madrid. **Anais...** Madri, 1958, p.271-282.
- MONTEITH, J. L. **Principles of environmental physics**. Edward Arnold, London, 241p. 1973.
- NUNES, E. L. et al. Zoneamento agroclimático da cultura do café para a Bacia do Rio Doce. **Revista Brasileira de Meteorologia**. Viçosa, Minas Gerais, v.22, n.3, 297-302, 2007.
- OLIVEIRA, I. P., OLIVEIRA, L. C. MOURA, C. S. F. T.. Cultura de café: histórico, classificação botânica e fases de crescimento. **Revista Faculdade Montes Belos**, v. 5, n. 4, 2012.
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ceres, 1981. 425 p.
- PEZZOPANE, J. R. M. et al. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro Arábica. **Bragantia**, v. 62, n.3, p.499-505, 2003.
- PEREIRA, A. R. **Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather**.Bragantia (São Paulo), Campinas, SP, v. 64, n. 2, 2005, p. 311-313.
- PEREIRA, A. R., VILLA NOVA, N. A. SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba, SP, 183p. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1997.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2002. 478p.
- PEREIRA, A. R.; CAMARGO, A. P. de; CAMARGO, M. B. P. de. **Agrometeorologia de cafezais no Brasil**. Campinas, SP, 2008. 127 p.
- PIRES, R. C. de M. **Métodos e Manejo da Irrigação**. Centro de Ecofisiologia e Biofísica, Instituto Agrônomo, 1999.
- RIBEIRO, A. G.. A climatologia geográfica e a organização do espaço agrário. In: BOLETIM DE GEOGRAFIA TEORÉTICA. Rio Claro: **Ageteo**, vol. 23, 1993. n. 45-46, 312p. p.34-38.
- SANTOS, A. R. **Zoneamento Agroclimatológico para a Cultura do Café Conilon (Coffea canephora L.) e Arábica (Coffea arabica L.), na Bacia do Rio Itapemirim, ES**. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.
- SCHÄFER, R. F. **Precipitação e evapotranspiração de referência estimadas com metodologia alternativa, voltadas à realização do balanço hídrico diário**. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- SEDIYAMA, G. C. et al. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (Coffea arábica L.) para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Passo Fundo, RS, v.9, n.3, p. 501-509, 2001.

SILVA, A. T. A. da. **Aspectos Meteorológicos e Balanço Hídrico em um Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos**. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008, 125 p.

SILVA, J. P. et al. Processo de automação de planilhas para cálculo de balanço hídrico em escalas mensal, decendial e diária. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 6., 2012 Jaguariúna, SP. **Anais...** Jaguariúna, 2012.

SILVA, J. G. da. **Morfometria e balanço hídrico da microbacia do Córrego Seco Caratinga – Minas Gerais**. Monografia (graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Centro Universitário de Caratinga, Caratinga, 2012.

SILVA, N. R. **Caracterização do regime climático regional: uma análise dos parâmetros de temperatura, precipitação e balanço hídrico do Triângulo Mineiro – MG**. Monografia (Bacharel em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

SILVA, R. E.; SILVA, G. A. da. A importância do clima na instalação e produção cafeeira no cerrado mineiro: o caso de Patrocínio no Alto Paranaíba (MG). **Revista Geonorte**, 2.ed., v.2, n.5, p.840 – 852, 2012.

SILVA R. E.; ASSUNÇÃO, W. L. O Clima e a Agricultura Familiar na Porção Norte da Planície Aluvionar de Serra Negra (MG). In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 14., 2013, Perú. **Anais...** Perú, 2013.

SMITH, M. **Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requiremets**. Rome FAO. 45p. 1991.

SORRE, M. (1957) – Les fondaments **dela geographie humaine**: lês fondaments biologiques, 3.ed. Paris: Librarie Armand Colin.

SOUSA, E. S. de. Balanço hídrico e classificação climática de Thornthwaite para acidade de Palmas – TO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém, PA. **Anais...** Belém. UFT, 2010.

THOMAZIELLO, R. A. et al. **Café arábica**: cultura e técnicas de produção. Campinas, 2000. 82p.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J.R. **Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1957. 311p.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol. 6, n.1.

TOMAZ, P. **Balanço Hídrico pelo Método de Thornthwaite-Mather, 1955**. (Apostila) 2008. Disponível em: <<http://www.creasp.org.br/biblioteca/wp->

content/uploads/2012/08/Capitulo\_02Balanco\_Hidrico\_pelo\_metodo\_de\_Thorntwaite-Mather1955.pdf>. Acessado em: 12 de jun. 2013.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia Descritiva**. 1ª ed. 6ª reimpressão. Editora Livraria Nobel. AS, p. 300-327, 1988.

TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora UFRGS/ABRH/EDUSP, 1993.

VAREJAO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife, 2005.

WAGNER, M. V. **Características hidroclimáticas para a cultura do milho em Guarapuava-PR**. 2009. 68f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2009.