**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Determinação do consumo hídrico e desenvolvimento inicial da palma de
óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) fertirrigada com vinhaça**

Eder Duarte Fanaya Júnior

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas
Agrícolas

**Piracicaba
2017**

Eder Duarte Fanaya Júnior
Engenheiro Agrônomo

Determinação do consumo hídrico e desenvolvimento inicial da palma de óleo
(*Elaeis guineensis* Jacq.) fertirrigada com vinhaça
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **MARCOS VINICIUS FOLEGATTI**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas
Agrícolas

Piracicaba
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Fanaya Júnior, Eder Duarte

Determinação do consumo hídrico e desenvolvimento inicial da palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) feritigada com vinhaça / Eder Duarte Fanaya Júnior. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2017.

128 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Lisímetros 2. Irrigação localizada 3. Evapotranspiração 4. Coeficiente de cultivo

I. Título

Aos meus pais Eder Duarte Fanaya e Márcia Francisca da Silva Fanaya

Aos meus avós Elias F. da Silva, Maria de Lourdes, Ivo Fanaya (in memoriam) e Helena D. Fanaya (in memoriam)

A todos os meus familiares e amigos.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por ter me concedido saúde, perseverança, sabedoria, força e fé em todos os momentos de minha vida.

Aos meus pais Eder e Márcia por toda educação, amor e carinho que têm me proporcionado ao longo de todos esses anos. Saibam que este trabalho também é uma conquista de vocês. Amo vocês.

Ao professor Marcos Vinícius Folegatti, orientador, amigo, por todos os conselhos, orientações e pela confiança em mim depositada em todo meu período na ESALQ. Sou muito grato por ter feito parte de sua equipe e pela oportunidade que me deu de trabalhar ao lado do senhor.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, em especial ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, por toda infraestrutura e pela oportunidade de cursar o doutorado, onde ofereço meus singelos agradecimentos a todos os professores pelo conhecimento compartilhado.

Aos professores Sérgio Duarte, Patrícia Marques, Rubens Coelho, Antonio Pires de Camargo pelo apoio, atenção e auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

Aos funcionários Gilmar Batista Grigolon, Davilmar Aparecida Colevatti, Beatriz Regina Duarte Novaes, Antonio Agostinho Gozzo (Seu Antônio), Luis Custódio Camargo, Luiz Afonso da Costa (*in memoriam*), Paula Alessandra Bonassa Pedro, Francisco de Oliveira (Chicão), Áureo Santana de Oliveira, Agnaldo Ferraz Degaspari, Juarez Renó do Amaral, Lino Stênico, Hélio de Toledo Gomes, Angela Márcia Derigi Silva, Paula Leme Mendes, pela dedicação e amizade por todos esses anos.

Aos meus amigos do “corredor” João Paulo Francisco, Jefferson Vieira, Bruno Lena, Otavio Neto, Irineu Andrade e Wagner Wolff por toda colaboração e convívio durante o experimento e também fora dele.

Aos meus amigos Luiz Sobenko, Luís Carvalho, Rogério Lavanholi, Fabrício Oliveira, Marcos Amaral, Maria Alejandra, Asdrúbal Farias, Jéfferson Oliveira, Timóteo Herculino, Ailson Maciel, Débora Pantojo, Arthur, Fernanda, Jéssica Garcia, Marcus Talamini, Alex Nunes, Osvaldo Nogueira, Ricardo Gava, Eusímio Fraga, Hermes Soares, Wagner Bombardelli, Daniel Leal, José Leoncio, Pedro Sampaio, Katarina Grecco, Rafael e Lisiane Brichi pela amizade e convívio durante o tempo de pós-graduação. Aos meus amigos de moradia Elcio Santos,

Fernando Gimenes, Ismael Meurer, Paulo Bertolla, Lucas Samorano pela companhia e amizade no MS82. Aos meus amigos de ESALQ Luiza Zazycki, Ricardo Feliciano, Jéssica Drum, Juliana Eschholz, Thiago Wendling, Gustavo Soares, Perla Oliveira, Maisa Siqueira, Simone Vieira, Fernando Cabezas, Daniel, Oderlei Bernardi, Daiana Bampi, Thays Pereira por todos os momentos de alegria e descontração, levo comigo a amizade de todos vocês.

Aos meus amigos do período de doutorado Sanduíche: Ivo Zution, Luan Venâncio, Adriano dos Santos, Allan Rodrigues, Felipe Alves, Jesse Starita, Carlos Gabriel, e em especial ao professor Christopher Neale pela oportunidade de trabalhar no Daughterty Water for Food Global Institute, na Universidade de Nebraska, Estados Unidos da América.

Agradeço também aos meus familiares e amigos de Mato Grosso do Sul que me apoiaram e torceram por mim durante toda essa jornada. Que Deus abençoe a vida de cada um de vocês.

*“O mundo não é um mar de rosas,
É um lugar sujo, um lugar cruel,
Que não quer saber o quanto você é durão.
Vai botar você de joelhos e você vai ficar de joelhos para
sempre se você deixar.
Você, eu, ninguém vai bater tão forte como a vida.
Mas não se trata de bater forte.
Se trata de quanto você aguenta apanhar e seguir em frente,
O quanto você é capaz de aguentar e continuar tentando.
É assim que se consegue vencer. ”*

(Sylvester Stallone, interpretando Rocky Balboa)

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	10
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE TABELAS.....	13
1. INTRODUÇÃO	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1. CLASSIFICAÇÃO DA CULTURA.....	19
2.2. ORIGEM DA PALMA DE ÓLEO.....	20
2.3. MORFOLOGIA DA PALMA DE ÓLEO.....	20
2.3.1. Sementes.....	20
2.3.2. Plântula.....	21
2.3.3. Estipe e meristema apical	22
2.3.4. Raízes	23
2.3.5. Folhas	24
2.3.6. Flores e frutos	26
2.4. A IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA PALMA DE ÓLEO	26
2.5. CLIMA E SOLO.....	29
2.5.1. Temperatura.....	29
2.5.2. Precipitação	30
2.5.3. Relação entre a água e a produtividade de palma de óleo	30
2.5.4. Radiação solar e insolação.....	31
2.5.5. Características do solo para o cultivo da palma de óleo.....	31
2.6. IRRIGAÇÃO	32
2.6.1. Evapotranspiração	32
2.6.2. Coeficiente de cultivo (Kc)	35
2.6.3. Sistemas e métodos de irrigação.....	36
2.7. NUTRIÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO	36
3. MATERIAL E MÉTODOS	39

3.1.	CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EXPERIMENTAL	39
3.2.	CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS	39
3.3.	CULTURA	41
3.4.	PRODUÇÃO DE MUDAS.....	42
3.4.1.	Fase de pré viveiro	44
3.4.2.	Fase de viveiro	47
3.5.	TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	49
3.6.	PREPARO DA ÁREA	51
3.6.1.	Análise química e físico-hídrica do solo.....	52
3.6.2.	Correção da acidez do solo	55
3.6.3.	Instalação do sistema de irrigação	56
3.6.4.	Manutenção dos lisímetros de pesagem.....	59
3.6.5.	Calibração e análise de desempenho dos lisímetros	62
3.6.6.	Abertura de covas e transplântio da cultura a campo.....	65
3.6.7.	Manejo da irrigação	68
3.6.8.	Fertirrigação com vinhaça.....	68
3.6.9.	Tratos culturais.....	70
3.7.	VARIÁVEIS MONITORADAS.....	73
3.8.	VARIÁVEIS AVALIADAS.....	74
3.10.	ANÁLISE ESTATÍSTICA	75
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
4.1.	MONITORAMENTO METEOROLÓGICO.....	77
4.2.	ANÁLISE DE CRESCIMENTO DA PALMA DE ÓLEO	83
4.3.	ANÁLISE QUÍMICA FOLIAR.....	102
4.4.	ÍNDICE DE CLOROFILA	107
5.	CONCLUSÕES	113
	REFERÊNCIAS	115

RESUMO

Determinação do consumo hídrico e desenvolvimento inicial da palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) fertirrigada com vinhaça

Os biocombustíveis, tais como biodiesel e etanol, vem sendo cada vez mais utilizados como substitutos dos derivados do petróleo. O estudo de culturas bioenergéticas tem se expandido no Brasil, sendo instituído no país um Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, visando sua produção a partir de culturas típicas da agricultura familiar brasileira, como, por exemplo, a mamona e a palma de óleo. A cultura da palma de óleo tem maior concentração na região Norte do Brasil, porém, estudos relacionados ao cultivo desta em outras regiões ainda são incipientes. Visando o cultivo desta planta na região sudeste, utilizando a irrigação localizada e disponibilizando nutrientes por meio de um efluente oriundo de outra planta bioenergética, a vinhaça da cana-de-açúcar, este experimento teve como objetivo a determinação da evapotranspiração de cultura da palma de óleo por lisimetria de pesagem, em sua fase jovem e, descrever os efeitos da vinhaça nas características biométricas, clorofila e nos teores de nutrientes foliares desta cultura. O estudo foi realizado em uma área experimental situada na Fazenda Areão da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, em Piracicaba-SP. As mudas foram produzidas em casa de vegetação, sendo transplantadas a campo em outubro de 2015, tendo sido avaliadas de novembro de 2015 a março de 2017. O espaçamento utilizado foi o de 9 x 9 m disposto em triângulo equilátero, totalizando 143 plantas ha⁻¹. Os tratamentos foram dispostos aleatoriamente, com três blocos compostos por quatro repetições cada, sendo eles: T1 - irrigação com adubação química; T2 - 50% da dose de potássio (K) via fertirrigação com vinhaça e os outros 50% da dose de K fornecida com a adubação química; T3 - 75% da dose de K via fertirrigação com vinhaça e os outros 25% da dose de K via adubação química; T4 - 100% da dose de K via fertirrigação com vinhaça. O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento. A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi determinada por lisimetria de pesagem. Ao fim do experimento foi realizada a coleta de folhas para a determinação da concentração de nutrientes. A palma de óleo apresentou valores de ET_c e K_c entre 2,16-5,00 e 0,71-1,06 respectivamente, no seu primeiro ano de cultivo irrigado. Em sua fase jovem, a cultura respondeu de forma positiva a fertirrigação com vinhaça, sendo o T3 (75% da dose de K disponibilizado via fertirrigação por vinhaça) o que demonstrou melhores resultados quanto ao crescimento da cultura em Piracicaba-SP. As características meteorológicas em Piracicaba-SP são fatores positivos para o cultivo da palma de óleo na região, contudo, as temperaturas mínimas ocorridas no inverno podem afetar o desenvolvimento da planta.

Palavras-chave: Lisímetros; Irrigação localizada; Evapotranspiração; Coeficiente de cultivo

ABSTRACT

Determination of water consumption and initial development of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) under fertirrigation with vinasse

Biofuels, such as biodiesel and ethanol, are increasingly being used as substitutes for petroleum derivatives. The study of bioenergy crops has expanded into Brazil, being instituted in the country a National Program for Production and Use of Biodiesel, for their production from typical crops of the Brazilian small farming, for example, castor bean and oil palm. The oil palm crop has higher concentration in the northern region of Brazil, however, studies related to the cultivation of this crop in other regions are still incipient. Aiming to cultivate this plant in the southeast region using localized irrigation and providing nutrients by effluent from another bioenergetic plant, the sugarcane vinasse, this work had as its main objective the determination of the crop evapotranspiration of oil palm by weighing lysimetry in its young phase and to describe the effects of vinasse on the biometric, chlorophyll and foliar nutrient contents of this crop. The study was carried out in an experimental area located at Areão Farm of the Superior School of Agriculture "Luiz de Queiroz", USP, in Piracicaba-SP. The seedlings were grown in a greenhouse and transplanted in the field October 2015, has been evaluated between November 2015 and March 2017. The spacing used was 9 x 9 m arranged in equilateral triangle, a total of 143 plants ha⁻¹. The treatments were arranged randomly, with three blocks composed of four replicates each, being: T1 - irrigation with chemical fertilization; T2 - 50% of the potassium (K) dose supplied via fertigation with vinasse and the other 50% of the K dose supplied with the chemical fertilizer; T3 - 75% of K dose via fertigation with vinasse and the other 25% of K dose via chemical fertilization; T4 - 100% of K dose via fertigation with vinasse. The irrigation system used was the drip irrigation. The crop evapotranspiration (ET_c) was determined by weighing lysimetry. At the end of the experiment, leaves were collected to determine the nutrient concentration. The oil palm showed values of ET_c and K_c between 2.16-5.00 and 0.71-1.06, respectively, in its first year of irrigated cultivation. In its young stage, the crop responded positively fertigation with vinasse, and T3 demonstrated better results regarding growth crop in Piracicaba. Weather features in Piracicaba-SP were largely a positive factor for the cultivation of oil palm in the region, however, the minimum temperatures occurred in the winter can affect the development of the plant and can have a negative influence on future productions.

Keywords: Lysimeters; Localized irrigation; Evapotranspiration; Crop coefficient

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Semente da palma de óleo.	21
Figura 2 - Folhas da cultura da palma de óleo.....	25
Figura 3 - Localização e vista geral da área experimental	39
Figura 4 - Temperatura máxima (T _{máx}), média (T _{méd}) e mínima (T _{mín}) do ar (A), precipitação acumulada mensal (B), horas de insolação acumulada mensal (C) e evapotranspiração de referência (ET _o) média mensal (D) em Piracicaba, SP (série histórica: 1917-2016)	40
Figura 5 - Estação meteorológica da fazenda Areão.	41
Figura 6 - Sementes de palma de óleo doadas pela Embrapa Amazônia Ocidental.....	42
Figura 7 - Visão interna da casa de vegetação (Fase de pré viveiro).	43
Figura 8 - Vista das linhas laterais (microaspersores na parte de baixo e nebulizadores em cima).	43
Figura 9 - Sementes pré-germinadas de palma de óleo, cultivar BRS C2501 (A), posição correta de semeadura (B) e semeadura da palma de óleo em tubetes (C).	44
Figura 10 - Cobertura de sombrite nas mudas no período de inverno.....	45
Figura 11 - Emergência e crescimento das mudas de palma de óleo.	46
Figura 12 - Variação da radiação solar e temperatura mínima e média do ar na fase do pré-viveiro. Semeadura (Se); emergência (Em); emissão da 1 ^o folha (1F); 2 ^o folha expandida (2F); 3 ^o folha expandida (3F); 4 ^o folha expandida (4F); 5 ^o folha expandida (5F); transplântio (TP).	47
Figura 13 - Preparação dos vasos para o transplântio das mudas de palma de óleo oriundas dos tubetes.....	48
Figura 14 - Croqui ilustrativo da área experimental.....	50
Figura 15 - Esquema de plantio de cada parcela.	51
Figura 16 - Passagem de grade pesada (A) e área após da passagem da grade niveladora (B).	52
Figura 17 - Coleta de solo da área experimental para análise química.	52
Figura 18 - Curvas de retenção de água no solo nas profundidades de 0,0-0,2 (A), 0,2-0,4 (B), 0,4-0,6 m (C) na área experimental.	54
Figura 19 - Correção do solo da área experimental da cultura da palma de óleo.....	55
Figura 20 - Abertura de sulcos para instalação da linha principal e das linhas de derivação da irrigação.	57
Figura 21 - Retirada dos lisímetros de pesagem com caminhão munck.	60
Figura 22 - Preenchimento do fundo do poço com brita (A); lisímetro sendo recolocado na área (B); preenchimento com solo da área experimental no lisímetro (C).	61
Figura 23 - Instalação da parte elétrica no interior dos poços dos lisímetros 1 e 2.....	61

Figura 24 - Manutenção e calibração do datalogger (A); instalação das células de carga (B) e do datalogger (C) na área experimental.	62
Figura 25 - Esquema de construção dos Lisímetro 1 e 2 (A); detalhe da disposição das sapatas onde se localizam as células de carga (B); Armação utilizada para a instalação dos lisímetros 3 e 4 (C); e disposição da célula de carga abaixo da armação que sustenta o lisímetro (D)....	63
Figura 26 - Abertura das covas para o transplântio das mudas de palma de óleo.	66
Figura 27 - Transplântio das mudas de palma de óleo no campo.	67
Figura 28 - Adubação fosfatada no transplântio da palma de óleo.	67
Figura 29 - Equipamento para armazenamento e aplicação da vinhaça via fertirrigação (A); tubo por onde a vinhaça entra no sistema (B); coleta de vinhaça na usina (C) e abastecimento dos tanques de armazenagem de vinhaça na área (D). Fonte: Arquivo Pessoal.	69
Figura 30 - Aplicação de defensivo para o controle de carrapatos na área experimental.	71
Figura 31 - Lagartas militar (<i>Spodoptera frugiperda</i>) coletadas nas plantas da casa de vegetação (A) e planta atacada pela lagarta (B).	71
Figura 32 - <i>Alternaria</i> sp. e planta afetada pelo fungo.	72
Figura 33 - Planta de palma de óleo atacada por formiga cortadeira (<i>Atta</i> spp.) na área experimental.	73
Figura 34 - Palma de óleo atacada por capivara.	73
Figura 35 - Dados diários de temperaturas máxima (T _{máx}), média (T _{méd}) e mínima (T _{mín}); umidade relativa (UR) e precipitação; insolação; radiação solar global (R _s) e saldo radiação (R _n); velocidade média do vento a 2 m de altura (U ₂) e; evapotranspiração de referência (ET _o), obtidos pela estação meteorológica da fazenda areão, ESALQ/USP, Piracicaba-SP. .	77
Figura 36 - Curvas de calibração dos lisímetros 1 (A), 2 (B) e 3 (C) para determinar a evapotranspiração da cultura (ET _c) da palma de óleo em Piracicaba-SP, Brasil.	79
Figura 37 - Lâmina de irrigação e precipitação mensal no cultivo da palma de óleo em Piracicaba-SP.	82
Figura 38 - Comportamento e linha de tendência da variável altura da cultura da palma de óleo ao longo do período avaliado.	85
Figura 39 - Comportamento da variável diâmetro do coleto na cultura da palma de óleo irrigada em Piracicaba-SP.	89
Figura 40 - Comportamento do diâmetro e da área da copa da cultura da palma de óleo ao longo do período avaliado.	93
Figura 41 - Comportamento do número de folhas emitidas da cultura da palma de óleo ao longo do período avaliado.	99
Figura 42 - Curva de regressão dos macronutrientes foliares em relação aos tratamentos na palma de óleo irrigada.	104
Figura 43 - Curvas de regressão dos micronutrientes foliares na cultura da palma de óleo. .	105
Figura 44 - Perfis médios dos índices de clorofila A (A), clorofila B (B), clorofila total (C) e relação entre clorofila A/B (D) na palma de óleo.	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção mundial de óleo de palma, em Mt.	27
Tabela 2 - Histórico da produção mundial de óleo das culturas mais importantes para a produção de biodiesel.	28
Tabela 3 - Produção de óleo das principais culturas oleaginosas, em milhões de toneladas. ..	29
Tabela 4 - Caracterização química do substrato Plantmax®-HT.	45
Tabela 5 - Análise química do solo colocado nos sacos para a produção de mudas de palma de óleo.	48
Tabela 6 - Tratamentos de potássio (K) fornecido por meio da fertirrigação com vinhaça e/ou com adubação química na cultura de palma de óleo.	50
Tabela 7 - Composição textural da área experimental.	53
Tabela 8 - Caracterização físico-hídrica do solo na área experimental da palma de óleo.....	55
Tabela 9 - Caracterização química da água utilizada na irrigação da palma de óleo.	58
Tabela 10 - Descrição dos lisímetros de pesagem utilizados para determinação do consumo hídrico da palma de óleo.....	59
Tabela 11 - Caracterização química da vinhaça utilizada na fertirrigação da palma de óleo...	70
Tabela 12 - Estatística descritiva das variáveis meteorológicas observadas na área experimental de palma de óleo, em Piracicaba-SP.....	78
Tabela 13 - Equações de calibração dos lisímetros.	79
Tabela 14 - Médias mensais da evapotranspiração de referência (ET _o) e das Evapotranspiração da cultura (ET _c) e coeficiente de cultura (K _c) nos três lisímetros durante o período de cultivo da cultura de óleo.....	80
Tabela 15 - Resumo do consumo hídrico da palma de óleo irrigada por gotejamento, em Piracicaba-SP.....	82
Tabela 16 - Resumo da análise de variância conjunta para as características altura (Alt - m), diâmetro do colo (D _c - cm), diâmetro da copa (D _{copa} - m), área da copa (A _{copa} - m ²) e número de folhas emitidas (NFE) na avaliação da palma de óleo fertirrigada com vinhaça, em Piracicaba-SP.....	83
Tabela 17 - Resumo da análise de variância conjunta para os incrementos das características altura (Alt - m), diâmetro do colo (D _c - cm), diâmetro da copa (D _{copa} - m), área da copa (A _{copa} - m ²) e número de folhas emitidas (NFE) na avaliação da palma de óleo fertirrigada com vinhaça, em Piracicaba-SP.....	84
Tabela 18 - Equações de regressão para a altura (Alt) de plantas em função dos meses após o transplântio (MAT).....	85
Tabela 19 - Teste de comparação de médias referente a variável altura (m) em plantas de palma de óleo irrigada em Piracicaba-SP, Brasil.	86
Tabela 20 - Teste de comparação de médias referente ao incremento de altura (m) na palma de óleo irrigada, em Piracicaba-SP.....	87

Tabela 21 - Análise estatística da altura média das plantas de palma de óleo entre os tratamentos, por período sazonal.	88
Tabela 22 - Análise estatística do incremento observado na altura média das plantas de palma de óleo entre os tratamentos, por período sazonal.	88
Tabela 23 - Equações de regressão para o diâmetro do coleto (Dc) das plantas em função dos meses após o transplântio (MAT).	89
Tabela 24 - Teste de comparação de médias referente ao diâmetro do coleto (cm) médio na palma de óleo irrigada, em Piracicaba-SP.	90
Tabela 25 - Teste de comparação de médias referente ao incremento do diâmetro do coleto (cm) na palma de óleo irrigada, em Piracicaba-SP.	91
Tabela 26 - Análise estatística do diâmetro médio do coleto das plantas de palma de óleo entre os tratamentos, por período sazonal.	91
Tabela 27 - Análise estatística do incremento observado no diâmetro médio do coleto das plantas de palma de óleo entre os tratamentos, por período sazonal.	92
Tabela 28 - Equações de regressão para o diâmetro (Dcopa) e da área da copa (Acopa) das plantas em função dos meses após o transplântio (MAT).	93
Tabela 29 - Análise estatística das variáveis diâmetro da copa (m) e área da copa (m ²) na palma de óleo irrigada em Piracicaba-SP.	94
Tabela 30 - Teste de comparação de médias referente ao incremento do diâmetro (m) e da área da copa (m ²) na palma de óleo irrigada, em Piracicaba-SP.	96
Tabela 31 - Análise estatística do diâmetro médio e da área da copa da palma de óleo entre os tratamentos, por período sazonal.	97
Tabela 32 - Análise estatística do incremento observado no diâmetro médio da copa das plantas de palma de óleo entre os tratamentos, por período sazonal.	98
Tabela 33 - Equações de regressão para o número de folhas emitidas (NFE) pelas plantas em função dos meses após o transplântio (MAT).	99
Tabela 34 - Análise estatística da variável número de folhas emitidas ao longo do experimento em Piracicaba-SP, Brasil.	100
Tabela 35 - Teste de comparação de médias referente ao incremento do número de folhas emitidas pela palma de óleo irrigada, em Piracicaba-SP.	101
Tabela 36 - Análise estatística do número de folhas emitidas das plantas de palma de óleo entre os tratamentos, por período sazonal.	101
Tabela 37 - Análise estatística do incremento observado no número de folhas emitidas das plantas de palma de óleo entre os tratamentos, por período sazonal.	102
Tabela 38 - Teores dos nutrientes foliares da palma de óleo irrigada.	102
Tabela 39 - Equação de regressão dos macronutrientes extraídos da folha da palma de óleo.	104
Tabela 40 - Equação de regressão dos micronutrientes extraídos da folha da palma de óleo.	105
Tabela 41 - Análise de correlação entre os macronutrientes da folha e as características biométricas e fisiológicas da planta.	106

Tabela 42 - Análise de correlação entre os micronutrientes da folha e as características biométricas e fisiológicas da planta.....	107
Tabela 43 - Resumo da análise de variância dos índices de clorofila da palma de óleo irrigada.	108
Tabela 44 - Valores médios dos índices de clorofila A das folhas de palma de óleo, entre os tratamentos de fertirrigação ao longo de seu ciclo inicial.	109
Tabela 45 - Valores médios dos índices de clorofila B e A+B das folhas de palma de óleo, entre os tratamentos de fertirrigação ao longo do ciclo inicial da cultura.	110
Tabela 46 - Valores médios da relação entre as clorofilas A e B, nas folhas de palma de óleo, entre os tratamentos de fertirrigação ao longo do ciclo inicial da cultura.	111
Tabela 48 - Composição química do solo da área experimental da palma de óleo (período anterior à implantação).	127
Tabela 49 - Composição química do solo da área experimental da palma de óleo, por tratamento (período posterior a aplicação da fertirrigação com vinhaça).	127
Tabela 50 - Disponibilidade de micronutrientes no solo da área experimental da palma de óleo (período anterior à implantação da cultura).....	128
Tabela 51 - Disponibilidade de micronutrientes no solo da área experimental da palma de óleo, por tratamento (período posterior à implantação da cultura).....	128

1. INTRODUÇÃO

As fontes de energia oriundas do petróleo são as mais utilizadas mundialmente, porém, os elevados preços ocasionados pelas crises das décadas de 70 e 80, assim como os impactos ambientais, econômicos e sociais, consequência da utilização intensiva das fontes não renováveis de energia, incentivaram a busca por novas alternativas, entre estas, o biocombustível (MARTINS; ANDRADE JR, 2014).

O biocombustível vem sendo vislumbrado como importante produto para o consumo no mercado interno e, conseqüentemente, no externo, sendo uma alternativa considerável para elevação da geração de emprego e renda, além de inclusão social para todos os habitantes de regiões consideradas marginalizadas (COSTA et al., 2013).

Diante do panorama mundial, o governo brasileiro instituiu no ano de 2004 o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), visando desenvolvimento de forma sustentável a produção e uso deste biocombustível. A proposta inicial previa sua produção a partir de culturas típicas da agricultura familiar de cada região brasileira, como a mamona no Nordeste e a palma de óleo (*Elaeis guineensis*) no Norte (MDA, 2011).

O óleo da palma, também conhecido como azeite de dendê, é o óleo mais produzido e consumido no mundo. A produção mundial de óleo do fruto da palma da safra 2015/2016, segundo United States Department Agriculture (USDA, 2017), foi de 58,72 milhões de toneladas, tendo uma previsão de chegar a 62,79 milhões toneladas na safra 2016/2017, enquanto a produção do óleo de sua semente foi de 6,93 milhões de toneladas na safra 2015/2016, tendo previsão de 7,42 milhões de toneladas para a safra 2016/2017. Considerando o consumo atual médio per capita mundial de óleo da palma, o crescimento mundial da população, o consumo de óleo de soja e possíveis incrementos médios na produtividade agrícola, este consumo pode atingir até 256 milhões de toneladas em 2050 (CORLEY, 2009).

Segundo Azevedo et al. (2008), diante da plena expansão do mercado internacional de óleo de palma e palmiste, da grande extensão de terras agricultáveis brasileiras, do elevado nível tecnológico empregado e da elevada produtividade de óleo, destaca-se que o cultivo desta sob irrigação suplementar poderá expandir-se significativamente em regiões do país onde se acredita que não ocorra seu desenvolvimento de forma satisfatória. Dentre essas, está a centro-sul, com potencial para produzir entre 06 a 08 t de óleo ha⁻¹ ano⁻¹.

No Brasil estudos com palma de óleo fora de suas regiões tradicionais de cultivo ainda são incipientes. Contudo uma pesquisa com palma de óleo irrigada implantado pela

Embrapa Cerrados no município de Planaltina-DF com seis anos de idade e algumas das variedades cultivadas apresentam alto potencial de desenvolvimento e produtividades médias superiores às regiões produtoras brasileiras. (ANTONINI et al., 2013).

A palma de óleo tem como característica um sistema radicular fasciculado (entre 30 a 40 t de matéria seca ha⁻¹) e necessita de altas doses de potássio (K₂O) e nitrogênio (N) de até 253 kg ha⁻¹ e 192 kg ha⁻¹, respectivamente (NG, 1972).

A vinhaça, um dos principais subprodutos da agroindústria canavieira é caracterizada por possuir um alto valor fertilizante, sendo aplicado principalmente em áreas de cana-de-açúcar (SILVA; GRIEBELER; BORGES, 2007). Com a utilização deste subproduto oriundo da fabricação de outro biocombustível (álcool) em áreas próximas as usinas de açúcar e álcool, pode-se expandir o potencial de cultivo da palma de óleo, com cultivares mais adaptadas as condições climáticas consideradas marginais para a cultura.

A utilização da vinhaça via fertirrigação pode representar uma ótima opção ao manejo desse efluente, além do aproveitamento do alto teor de nutrientes presente em sua composição. Adicionalmente, salienta-se que o período de maior déficit hídrico no solo na região centro-sul coincide com o período de maior produção de vinhaça, ou seja, entre os meses de maio a outubro, o que favorece sua aplicação na produção agrícola.

Os recursos hídricos tendem a ser cada vez mais escassos, intensificando os conflitos de uso da água e forçando os irrigantes se tornarem mais eficientes no uso da água. Além disso, as demandas ambientais pressionam os irrigantes quanto ao uso racional de fertilizantes e defensivos, garantindo a minimização de possíveis danos ambientais. Sendo assim, torna-se necessário a realização de pesquisas que visem gerar informações sobre a demanda hídrica e nutricional de culturas como a palma de óleo irrigada, possibilitando o uso da fertirrigação com efluentes agroindustriais, como a vinhaça, em áreas próximas as usinas, expandindo o potencial de cultivo com cultivares mais adaptadas as condições climáticas consideradas marginais para a cultura.

Com isso, o objetivo principal foi determinar a evapotranspiração da cultura no primeiro ano da palma de óleo irrigada, em Piracicaba-SP; e como objetivos secundários: avaliar os efeitos da fertirrigação localizada com vinhaça nas características biométricas, clorofila e no teor de nutrientes foliares; indicar qual a dose de aplicação de vinhaça proporcionará melhor desenvolvimento à cultura e; entender o grau das correlações existentes entre os parâmetros biométricos, índice de clorofila e fatores edafoclimáticos para esta cultura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Classificação da cultura

A palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) vem ganhando maior destaque a nível mundial graças as elevadas produtividades de óleo que produz. Esta tem por classificação taxonômica: Reino - Plantae; Sub-reino – Tracheobionta; Divisão – Magnoliophyta; Sub-divisão – Spermatophyta; Classe – Liliopsida (monocotiledônea); Sub-classe – Arecidae; Ordem – Arecales; Família - Arecaceae (Palmae); Gênero – *Elaeis*; Espécie – *guineensis* Jacq. (CORLEY; TINKER, 2016; USDA, 2017).

Seu nome científico foi dado pelo pesquisador Nicholaas Jacquin em 1763. *Elaeis* vem do grego *elaion* (óleo), enquanto a espécie *guineensis* foi atribuída a sua origem na costa da Guiné. Atualmente, segundo Ptasinski (2016), existem três espécies principais do gênero *Elaeis*: a *E. guineensis* e a *E. oleífera*, oriundas da África e América, respectivamente, e a *Barcella odora*, conhecida atualmente como *Elaeis odora* que, segundo Wessels-Boer(1965), não se cultivada comercialmente e pouco se conhece sobre ela.

Esta é uma cultura perene, com metabolismo C₃, bem adaptada a regiões tropicais, podendo ser encontrada no sudeste da Ásia, centro da África e norte da América do Sul (KASSAM et al., 1993; BARCELOS, RODRIGUES, SANTOS; CUNHA, 2001; CORLEY; TINKER, 2016; PTASINSKI, 2016).

Como uma cultura monóica, pode ser polinizada transversalmente. Seus cultivares podem ser classificados em quatro categorias, de acordo com a estrutura e rendimento do fruto (CONCEIÇÃO; MULLER, 2000; VERHEYE, 2010; CORLEY & TINKER, 2016):

- Macrocaria – possui um endocarpo com espessura que varia entre 6 e 8 mm. Amplamente difundida em Serra Leoa e no oeste da Nigéria, considerada uma forma extrema da cultivar Dura. Não possui valor comercial;
- Dura – possui endocarpo com espessura entre 2 e 8 mm de espessura, compreendendo de 25 a 55% do peso do fruto. Além disso, o teor de óleo médio no mesocarpo varia entre 35 e 55% em peso. Cultivar menos produtiva, possui característica mais rústica que as demais;
- Pisífera – não possui endocarpo. Tem como principal função fornecer pólen na produção de híbridos comerciais; e
- Tenera – possui endocarpo de 0,5 a 3 mm de espessura, compreendendo de 1 a 32% do peso do fruto. No mesocarpo, o teor de óleo varia entre 60 e 95%. Este

cultivar origina-se do cruzamento dos cultivares Dura e Pisifera, tendo um alto valor comercial.

Grande parte das plantações comerciais desta cultura constitui-se do cultivar Tenera. A palma de óleo tem um ciclo de vida de aproximadamente 200 anos, contudo, sua produtividade diminui drasticamente após 30 anos de cultivo (VERHEYE, 2010).

2.2. Origem da palma de óleo

A palma de óleo tem sua origem na África a cerca de 5000 AP, contendo evidências fósseis, históricas e linguísticas (RAYMOND, 1961; ZEVEN, 1964; ELENGA; SCHWARTZ; VINCENS, 1994; SOUZA, 2010). Esta cultura consta em alguns relatos dos primeiros visitantes europeus à costa da África no século XV, como parte integrante da paisagem, dos hábitos e da cultura popular (VAINSENER, 2009).

Seus primeiros relatos na América do Sul vem do período pré-Colombiano, com mudas trazidas da África, por meio do comércio de escravos, tendo sua primeira plantação estabelecida em Honduras em 1943, estabelecida pela United Fruit Company (RICHARDSON, 1995). Chegou ao Brasil por volta do século XVII (COOK, 1942), possuindo maior concentração na região norte do país.

2.3. Morfologia da palma de óleo

2.3.1. Sementes

Também conhecida por “noz”, a semente da palma de óleo (Figura 1), constitui-se de uma casca (endocarpo) e, em seu interior, podem ser encontrados de um a três núcleos. Na maioria dos casos, a semente possui apenas um núcleo, pois dois dos três óvulos no ovário tricarpelar geralmente são abortados (CORLEY & TINKER, 2016).

Seu tamanho depende tanto da espessura do endocarpo quanto do tamanho do palmiste. A “noz” típica da variedade africana “dura” pode ter de 2 a 3 cm de comprimento e, em média, uma massa de 4 g, embora algumas sejam maiores, como pode ser observado no caso da “noz” Deli “dura” que tem em média 6 g chegando até 13 g. A noz da variedade africana “tenera” tem geralmente 2 cm de comprimento ou menos e 2 g de massa, tendo algumas menores pesando 1 g (CONCEIÇÃO; MULLER, 2000).

Figura 1 - Semente da palma de óleo.

Foto – Arquivo pessoal

2.3.2. Plântula

Gerada após a germinação da semente, a plântula, durante as primeiras semanas de crescimento, depende do fornecimento de material armazenado a partir do endosperma. De acordo com Alang et al. (1988) o endosperma constitui-se de 47% de gordura e 36% de galactomanano, um carboidrato; no desenvolvimento da plântula se utiliza o galactomanano antes da gordura. Após esse período, Boatman e Crombie (1958) relataram que 80% da gordura do endosperma é utilizada pela plântula por três meses após a germinação e 98%, após cinco meses.

Durante seu desenvolvimento, a radícula cresce cerca de 4,4 mm d⁻¹, até um comprimento máximo de cerca de 50 cm (JOURDAN; REY, 1997). Logo após, surgem as primeiras raízes adventícias, produzidas acima da junção radícula-hipocótilo, originando assim as raízes secundárias. Concomitantemente, são produzidas duas bainhas plumais sem catafilos (HENDERSON, 2006) antes da primeira folha verde, cerca de um mês após a germinação. Posteriormente, uma folha por mês é produzida até a plântula completar seis meses de idade.

Depois da abertura da primeira folha, inicia-se o processo de fotossíntese. Até essa fase, acontece uma perda semanal de massa do endosperma maior do que o ganho de massa da plântula. A fotossíntese, nesta fase, contribui com essas perdas devido à respiração, indicando que a plântula não necessita mais do endosperma para sua nutrição (CORLEY, 1976).

Após um período de 3 a 4 meses, a base do caule fica atrofiada e se torna uma espécie de "lâmpada inchada", de onde as raízes primárias verdadeiras emergem. Estas se apresentam mais grossas que a radícula, crescendo a um ângulo de 45° a partir da vertical,

enquanto as raízes secundárias crescem em todas as direções (BASIRON, 2007; AKPO et al., 2014).

As folhas, ao longo do tempo, tornam-se maiores e mudam de forma. As primeiras a aparecer são lanceoladas com uma nervura central que se prolonga até metade do comprimento da mesma, dividindo-se em duas nervuras que procedem até a ponta da folha. Nas folhas posteriores, uma bipartição aparece entre estas nervuras e a folha se torna bifurcada. Este tipo de folha, posteriormente, é seguida rapidamente por folhas com divisões nas lâminas entre as outras nervuras em folíolos ou pinnas, embora estas ainda estejam juntas entre si no ápice (CORLEY; TINKER, 2016).

2.3.3. Estipe e meristema apical

Durante o crescimento inicial das plântulas ocorre a formação de uma base de haste larga (estipe), sem alongamento internodal. Esta haste não se desenvolve até o terceiro ano da cultura, quando o ápice atingiu seu diâmetro total, obtendo a forma de um cone invertido. (JACQUEMARD, 1979; ZIMMERMANN; TOMLINSON, 1965).

A plântula da palma de óleo pode apresentar um ou mais pontos de crescimento, sendo que, quando apresenta mais de um, ocorre uma ramificação resultando na formação de dois ou mais meristemas apicais (HENRY, 1955a).

O meristema apical se localiza em uma depressão no ápice da estipe, dentro de uma massa de folhas jovens e bases foliares (TOMLINSON, 1961). Pode haver até 50 folhas do centro da depressão até o ponto mais alto da coroa (HENRY, 1955b). As folhas jovens, ainda não alongadas, são em grande parte constituídas pelas bases das folhas com extensões laterais (JOUANNIC et al., 2011).

A estipe tem seu crescimento em espessura completado antes do seu alongamento ocorrer. Esse crescimento, provocado pela atividade do "meristema primário de espessamento", localizado imediatamente abaixo do meristema apical, tem sua divisão celular em grande parte em um plano tangencial. Quando esse crescimento se extingue e a haste atinge seu diâmetro máximo, ocorre o alongamento dos entrenós do estipe. Sua taxa de extensão depende de fatores ambientais e genéticos, variando entre 25 e 50 cm por ano e seu diâmetro varia entre 20 e 75 cm (CORLEY; TINKER, 2016).

2.3.4. Raízes

A partir do momento em que a planta deixa o estágio de plântula, milhares de raízes primárias se espalham da base do caule. Essas, esporadicamente, se desenvolvem no tronco até 1 m acima do nível do solo e, normalmente, param de crescer, secando antes de chegar ao solo (YAMPOLSKI, 1922; VERHEYE, 2010).

A maior quantidade de raízes pode ser encontrada entre as profundidades de 20 e 60 cm (TAILLIEZ, 1971), entretanto, sua profundidade exata da concentração radicular depende do tipo de solo (PURVIS, 1956; RUER, 1967; TINKER, 1976; CHAN, 1977), podendo alcançar uma profundidade de 5 m como descrito por Rey et al. (1998) em estudo realizado na Costa do Marfim.

Seu sistema radicular tem como característica a presença de pneumatódios, tanto em raízes subterrâneas quanto em aéreas (CORLEY; TINKER, 2016). Essas estruturas foram mencionadas por Yampolski (1924) que as encontrou em maior quantidade em raízes aéreas do que em raízes subterrâneas em Sumatra-Indonésia, porém, o autor relatou um caso inverso ocorrido na África Ocidental. Além disso, podem ser mais comuns em mudas cultivadas em casas de vegetação ou onde o sistema radicular for mantido sob água ou em condições muito úmidas (PURVIS, 1956).

A anatomia das raízes de palma de óleo foi descrita por diversos autores (PURVIS, 1956; RUER, 1967; JOURDAN; REY, 1997; JOURDAN; MICHAUX-FERRIÈRE; PERBAL, 2000). Nela, as raízes podem ser divididas em:

- Raízes primárias – formadas por uma epiderme e uma hipoderme lignificada que circundam um córtex com espaços de ar bem desenvolvidos (pneumatódios). Dentro do córtice encontra-se o cilindro vascular central que consiste na endoderme lignificada circundante.
- Raízes secundárias – com diâmetro entre 1 e 4 mm, esta ramifica-se das raízes primárias, crescendo tanto de forma ascendente como descendente. As ascendentes atingem a superfície do solo, ramificando-se de tal forma que produz uma camada densa de raízes mais finas, enquanto as descendentes podem penetrar profundamente no solo com menor ramificação.
- Raízes terciárias - de 0,5 a 1,5 mm de diâmetro e até 20 cm de comprimento. Crescem em direções aleatórias, não possuindo uma distribuição mais uniforme no solo.
- Raízes quaternárias – varia entre 1 e 3 cm de comprimento e diâmetro de 0,2 a 0,5 mm, sendo praticamente não lignificada. Tem como principal função a absorção de nutrientes.

As raízes da palma de óleo ainda apresentam uma infecção por fungos micorrízicos, sendo que, as hifas desses se ramificam entre as células das raízes, estendendo-se para o solo, desempenhando papel importante na absorção de nutrientes, especialmente o fosfato (MORTON, 1942; NADARAJAH, 1980).

2.3.5. Folhas

As folhas dessa cultura têm a característica de brotar de forma contínua, separando-se lateralmente do meristema apical. Na fase inicial, desenvolve-se de forma lenta. Esta permanece cerca de dois anos em estado de dormência no interior do botão apical, sendo que após esse período, ela se desenvolve rapidamente, transpondo em um formato de lança e, posteriormente, se abrindo (HENRY, 1955a).

A folha madura pinada, trazendo folíolos lineares em cada lado da ráquis da folha. Estes folíolos podem ser de diversos tamanhos: os que se encontram na junção do pecíolo com a ráquis são sempre menores que os que se localizam na ráquis, sendo que estes podem alcançar até 1,2 m de comprimento (JAAFAR; HAFIZ, 2012).

A superfície abaxial do pecíolo pode ser encontrada em diversas colorações: verde, verde amarelada ou amarelo-ocre, tendo em alguns casos uma faixa central mais escura. Essa variação tem origem genética, podendo ser útil para distinção entre diferentes clones. A ráquis geralmente possui cor semelhante à superfície abaxial do pecíolo (CORLEY; TINKER, 2016; VERHEYE, 2010).

Entre o pecíolo e a bainha, encontram-se pequenos espinhos, formados a partir das bases das fibras da bainha foliar. Seu ponto de inserção tende a ser regular, sendo que, ao destacá-los das folhas, se nota uma semelhança no comprimento de todos eles. Outro tipo de espinho origina-se de folíolos pouco desenvolvidos, geralmente encontrados na base do ráquis (REES, 1963).

O talo ou ráquis da folha é rígido e fibroso, podendo alcançar até 8 m de comprimento. Possui uma ponta quase circular em seção transversal e, sua parte central assimétrica com faces laterais onde os folíolos estão presos. No pecíolo, as faces laterais estão ausentes (LEE et al., 2011).

O número de folhas produzidas anualmente por uma palma de óleo, com idade entre 2 e 4 anos, chega entre 30 e 40. A partir daí a produção destas declina gradualmente, para 20 a 25 por ano, com cerca de 8 anos de cultivo. Em uma palma em pleno crescimento, as lanças são produzidas uma de cada vez e apontam verticalmente para cima. À medida que as lanças

se abrem, outras se alongam rapidamente para tomar seu lugar. Em um período de seca, várias lanças podem alongar-se antes que a mais antiga se abra, de modo que meia dúzia ou mais de lanças sobressaem do centro da coroa. Assim que este período acabe, a maioria dessas lanças se abrem, dando a parte superior da coroa uma aparência verde-clara por um curto período. (CORLEY; GRAY, 1976; ZEVEN, 1967).

Após a abertura da folha, ela é progressivamente deslocada para fora e para baixo, em sucessão espiral, à medida que surgem folhas mais novas. As de meia idade se encontram paralelas ao solo, com a inclinação dobrada ligeiramente para baixo. Geralmente, a face adaxial do ráquis está voltada para cima, porém, em alguns casos, a ponta da folha torce para um plano vertical ou mesmo uma posição invertida (KONAN et al., 2014).

Na Figura 2 podemos observar todo o desenvolvimento da folhas durante o experimento com a palma de óleo irrigada em Piracicaba-SP.

Figura 2 - Folhas da cultura da palma de óleo.

Foto – Arquivo pessoal

2.3.6. Flores e frutos

O florescimento começa depois que a palmeira jovem está bem estabelecida. Um primórdio de inflorescência se desenvolve na axila de cada folha no momento de sua brotação. A inflorescência atinge o estágio da lança central em dois anos e outros 9 a 10 meses para a floração e a antítese. Cada primórdio floral produz uma inflorescência masculina e outra feminina. O número de inflorescências por palma depende do número de folhas produzidas e do número de inflorescências que atingem a maturidade sem aborto (KASSAM et al., 1993).

As inflorescências masculinas e femininas se formam separadamente na mesma palma. Uma inflorescência masculina produz de 10 a 40 g de pólen. Uma inflorescência feminina consiste em uma haste central (pedúnculo) à qual as espiguetas estão presas. Nessas espiguetas, encontramos as pequenas flores femininas de cor de creme de 1 cm de diâmetro (LEGROS et al., 2009).

A proporção de inflorescências femininas comparada ao total de inflorescências em uma planta de palma deve ser alta para obtenção de altas produtividades, mas a ordem e proporção de inflorescências masculinas e femininas demonstra pouca regularidade. O período entre diferenciação sexual tem cerca de 2 anos. A proporção sexual tende a ser parcialmente genética e parcialmente determinada por condições climáticas e outras condições ambientais no momento de sua determinação (VERHEYE, 2010).

O tempo entre a floração e a colheita dos frutos maduros chega a ser de 5 a 6 meses. Durante sua fase produtiva, pode conter de 1.000 a 4.000 frutos, dependendo da idade e do vigor da planta. Sua polpa (mesocarpo) contém o óleo de palma, enquanto de sua semente extrai-se o óleo de palmiste. Estes possuem composição química distinta, sendo o óleo de palma utilizada na indústria alimentícia e o óleo de palmiste para produção de cosméticos, biocombustíveis, entre outros (Descritos no item 1.4) (MOREL et al., 2016).

2.4. A importância econômica da palma de óleo

Sua produtividade elevada e crescente levou a uma rápida expansão industrial no mundo, principalmente em regiões tropicais da África, Ásia e América. Tem suas maiores produções localizadas na Malásia e Indonésia, sendo estes os maiores fornecedores do óleo presente no comércio mundial (Tabela 1).

Tabela 1 - Produção mundial de óleo de palma, em Mt.

	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18*
Indonésia	28500	30500	33000	32000	34000	36000
Malásia	19321	20161	19879	17700	19500	21000
Tailândia	2135	2000	2068	1804	2000	2200
Colômbia	974	1041	1110	1275	1143	1320
Nigéria	970	970	970	970	970	970
Outros países	4478	4632	4751	5053	5266	5314
Total	56378	59304	61778	58802	62879	66804

* - Estimativa da produção realizada até maio de 2017. Dados – USDA (2017)

Pode ser considerada, de acordo com Andrade e Miccolis (2011), como uma cultura que agrega um forte apelo ecológico, por apresentar baixos níveis de agressão ambiental, adaptar-se bem aos solos com baixa fertilidade natural e proteger o solo da lixiviação e da erosão. Possui ainda, grande potencial para a absorção de gás carbônico, capacidade esta inferior apenas ao eucalipto. Por fim, auxilia na restauração do balanço hídrico e climatológico, contribuindo de forma expressiva para a reciclagem e liberação de O₂.

O consumo mundial do óleo da palma, também conhecido como azeite de dendê, considerando os anos de 1998 a 2010, passou de 17 para 47 milhões de toneladas (VERHEYE, 2010), sendo que no ano de 2004, ultrapassou em produção a soja, tornando-se o óleo mais consumido no planeta (Tabela 2). Tal consumo representa pouco mais de um terço do total de óleos vegetais consumidos, e sua produtividade supera de 3 a 7 vezes outras culturas oleaginosas tais como soja e amendoim (CORLEY; TINKER, 2016; USDA, 2017).

Tabela 2 - Histórico da produção mundial de óleo das culturas mais importantes para a produção de biodiesel.

	Palma de óleo	Soja	Girassol	Colza
	-----Milhões de toneladas-----			
2004/05	33,63	32,64	9,19	16,10
2005/06	36,02	34,91	10,55	18,03
2006/07	37,59	36,40	10,73	17,82
2007/08	41,43	37,77	10,16	18,96
2008/09	44,47	36,10	11,92	21,23
2009/10	46,37	38,91	12,12	23,28
2010/11	49,19	41,43	12,09	23,53
2011/12	52,53	42,96	14,34	24,90
2012/13	56,38	43,29	12,87	25,68
2013/14	59,30	45,25	15,47	27,27
2014/15	61,78	49,20	15,00	27,62
2015/16	58,80	51,62	15,47	27,84
2016/17	62,88	54,29	17,33	27,90
2017/18*	66,80	56,20	17,69	28,45

* - Estimativa da produção realizada até maio de 2017.

Dados – USDA (2017)

No Brasil, a produção anual de óleo de palma e palmiste são de 243 mil toneladas, representando menos de 0,5% da produção mundial, ocupando assim a 11^a posição no ranking mundial, muito atrás de países como Indonésia, Malásia e Tailândia. Com isso, a produção não atende o consumo interno de cerca de 489 mil toneladas ao ano. No ano de 2010 o Brasil importou cerca de 257 mil toneladas de óleo (AGRIANUAL, 2011).

Do fruto da palma de óleo, pode ser extraído dois tipos de óleo, ambos importantes para o comércio mundial (Tabela 3):

- o óleo da palma - extraído da polpa do fruto (mesocarpo), que contém entre 50 e 60% de óleo, sendo ainda o mais importante produto oriundo desta cultura, representando 80% do toda produção mundial deste óleo, destinada ao setor alimentício (SOUZA, 2010; VERHEYE, 2010) e;
- o óleo do palmiste ou de amêndoa - extraído da semente da palma de óleo que contém cerca de 50% de óleo, utilizado na produção de biocombustível (biodiesel), além de servir como matéria prima na indústria de cosméticos, na fabricação de sabonetes, sabão em pó, detergentes e amaciantes de roupas biodegradáveis, lubrificantes, velas, produtos sanitários e farmacêuticos (RAMOS, 2010; PTASINSKI, 2016). Além desses, o resíduo da prensagem da

semente da palma da origem a torta de semente, rico em proteína, vem sendo utilizada na alimentação animal.

Tabela 3 - Produção de óleo das principais culturas oleaginosas, em milhões de toneladas.

Óleo	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18*
Amendoim	5,40	5,72	5,43	5,41	5,89	6,06
Caroço de algodão	5,21	5,16	5,12	4,32	4,38	4,73
Coco	3,62	3,38	3,37	3,32	3,37	3,44
Colza	25,68	27,27	27,62	27,84	27,90	28,45
Girassol	12,87	15,47	15,00	15,47	17,33	17,69
Oliva	2,51	3,20	2,40	3,12	2,63	3,12
Palma	56,38	59,30	61,78	58,80	62,88	66,80
Palmiste	6,69	7,07	7,31	6,94	7,42	7,85
Soja	43,29	45,25	49,20	51,62	54,29	56,20

* - Estimativa da produção realizada até maio de 2017.

Dados – USDA (2017)

Por se tornar uma tendência nos últimos anos, o biodiesel, muitos países vêm investindo na cultura da palma de óleo para sua produção. O governo da Malásia aprovou cerca de 20 projetos voltados a produção de biodiesel oriundo do óleo da palma, desde 2006. Contudo, observando que a alta demanda de biodiesel estava afetando o mercado do óleo destinado a alimentação, o governo suspendeu novos projetos (MURPHY, 2008).

2.5. Clima e solo

2.5.1. Temperatura

A palma de óleo demanda de elevadas temperaturas. Segundo Bastos et al. (2001), a temperatura do ar tem grande importância para a determinação do crescimento e produção desta cultura. Corley e Tinker (2016) observaram que as maiores produções são obtidas em regiões com pequenas variações de temperatura e onde a média anual está entre 25 a 27°C sem ocorrência de temperaturas mínimas inferiores a 17°C, por períodos prolongados, apesar de que, quando cultivadas em altitudes elevadas ou em áreas abaixo do limite geográfico de 15° (N ou S, final da faixa equatorial), podem se desenvolver com temperaturas médias mínimas abaixo do 20°C.

As conseqüências da baixa temperatura são o aumento do aborto e o crescimento lento da planta. Em alguns locais, onde ocorra mudança de temperatura sazonal mínima,

podendo chegar até o limite da variação de 6°C, não ocorre efeito representativo no desenvolvimento da cultura (FOONG, 1993).

Algumas doenças podem se desenvolver na cultura em decorrência de temperaturas mínimas. Em trabalho realizado no Congo e na Guiné por Cornet (2001) as temperaturas noturnas abaixo de 15°C causaram a "podridão cardíaca", uma doença que se desenvolve em plantas de palma de óleo com idade entre 5 e 8 anos, iniciando no centro da copa e levando a morte da planta.

2.5.2. Precipitação

A precipitação, de acordo com Souza (2010), pode ser considerado um fator de extrema importância para uma adequada disponibilidade de água no solo, de forma constante, para o desenvolvimento e produção desta cultura. Tendo por base como um regime pluviométrico ideal um volume anual entre 1800 e 2000 mm, com precipitações mensais superiores 100 mm, assegurando boa distribuição ao longo do ano. Baixas precipitações ou períodos superiores a dois meses sem chuva, afetam de forma acentuada a emissão foliar, número e peso médio do cacho.

Precipitações acima de 2500 mm pode ser desfavorável por interferir na disponibilidade da radiação solar para a cultura. Porém, Corley e Tinker (2016) comentaram que em Fako, sudoeste de Camarões, a produção de palma de óleo continuou elevada mesmo com 4500 mm de precipitação anual. Este fato foi explicado pelas precipitações se concentrarem de forma expressiva aos finais de tarde, deixando horários de sol suficientes para a absorção da cultura.

Pouca precipitação pode ocasionar o estresse hídrico da cultura. Este pode influenciar no aparecimento de um número elevado de inflorescências masculinas afetando negativamente nos rendimentos da cultura e; na aborto de inflorescências recém-produzidas, simultaneamente a desidratação e a morte dos cachos em desenvolvimento (ELENGA; SCHWARTZ; VINCENS, 1994).

2.5.3. Relação entre a água e a produtividade de palma de óleo

Estudar a resposta da cultura à irrigação pode ser um bom caminho para entender a relação entre a água aplicada com a produtividade da cultura. Um estudo realizado por Goh (2000) relatou a dificuldade de relacionar com precisão a água disponibilizada por precipitação com a produtividade, considerando considerou que uma ETc diária ótima seria

entre 5 e 6 mm e, qualquer fornecimento inferior a isso poderia ocasionar o estresse hídrico na planta. Com utilização de lisímetros, Foong (1993) encontrou resultado semelhante: 5 a 5,5 mm d⁻¹ de ETc em fase de maturação.

2.5.4. Radiação solar e insolação

Para o crescimento e produção desta cultura são indispensáveis altos níveis de radiação solar. De acordo com Corley e Tinker, (2016) a radiação solar influi na taxa de fotossíntese, na maturação dos cachos e no percentual de óleo no fruto.

A insolação necessária para expressar do potencial produtivo da palma de óleo situa-se em torno de 1.800 h ano⁻¹, com um mínimo de 5 h d⁻¹ em todos os meses do ano (VERHEYE, 2010).

2.5.5. Características do solo para o cultivo da palma de óleo

Esta cultura pode ser cultivada em diferentes tipos de solos, contudo, a variação da umidade e das propriedades físicas e químicas causam diferenças significativas na produção (CORLEY; TINKER, 2016).

Dentre as características físicas do solo mais importantes, pode-se destacar: profundidade efetiva, devendo ser maior de 0,9 m; textura franca ou mais argilosa; estrutura forte ou moderada; permeabilidade moderada; relevo plano ou suave ondulado, não pedregoso; sem concreções de ferro, alumínio ou manganês; sem camada adensada e; consistência muito friável, friável ou firme (SOUZA, 2010).

Quanto as características químicas do solo, esta cultura pode se desenvolver bem em solos relativamente pobres, embora baixos teores nutricionais, quando não corrigidos, na zona radicular afete sua produtividade. Geralmente, no estágio inicial desta cultura, os requisitos para adubação são avaliados tendo como referência as análises do solo e e foliares. A quantidade de nutrientes extraídos de uma plantação de palma de óleo, tende a ser maior do que em outras culturas tropicais. Caso não seja repostos os nutrientes necessários para seu desenvolvimento e produção, pode resultar em reduções no rendimento desta cultura (GOH et al., 1994).

2.6. Irrigação

A irrigação desta cultura tem sido debatida nos últimos anos devido ao volume anual de água que esta planta necessita para seu desenvolvimento. Geralmente, para a implantação de um sistema de irrigação nesta cultura, são tomadas algumas decisões: se a irrigação será ou não lucrativa e quando operar o sistema uma vez que instalado. Em ambos os casos, exigem-se informações sobre o grau de estresse hídrico sofrido pela cultura (CORLEY; TINKER, 2016).

Sobre a lucratividade da cultura, são necessárias estimativas da frequência e da duração do período seco a partir de dados meteorológicos. No segundo caso, são necessárias medidas diárias ou semanais da necessidade hídrica e estresse hídrico. O estresse hídrico pode ser medido ou estimado por uma variedade de métodos diferentes. Medições diretas podem ser feitas monitorando a abertura estomática utilizando um porômetro, mas Palat, Smith e Corley (2000) consideraram que o método era muito trabalhoso e impreciso para o gerenciamento prático de irrigação. O método usual envolve o cálculo da deficiência de água do solo, mas isso pode ser feito de várias maneiras, levando a vários valores diferentes do déficit hídrico.

2.6.1. Evapotranspiração

A evapotranspiração é uma das variáveis mais importantes para o melhor aproveitamento do recurso hídrico, sendo fundamental o seu conhecimento em vários campos científicos que abordam os problemas com o manejo de água. Na literatura diversos conceitos são empregados, dentre estes Pereira, Vila Nova e Sedyama (1997) explica que o termo evapotranspiração (ET) foi introduzido por Thornthwaite, definindo-a como sendo a água utilizada por uma extensa superfície vegetada, em crescimento ativo e com cobertura total do terreno e em condições de demanda constante de água. A ET pode ser obtido por meio de métodos diretos e indiretos.

2.6.1.1. Métodos diretos

De acordo com Sentelhas et al. (2001) a determinação da ET de forma direta pode ser obtida com auxílio de três métodos: métodos micro meteorológicos, método do balanço de água no solo e os lisímetros. Dentre estes, os lisímetros são estruturas especiais onde isola-se um volume conhecido de solo vegetado, a fim de controlar todas as entradas e saídas de água deste sistema, obtendo assim medidas precisas da ET, sendo que, a vegetação em seu interior

deve apresentar condições biométricas semelhantes às da área de contorno. Apresenta variadas formas e tamanhos, os quais são definidos em função do sistema radicular das culturas instaladas e exige calibração para que os dados coletados sejam representativos (FOLEGATTI et al., 1999; CAMPECHE, 2002; SILVA, 2005; MCCABE; MARKSTROM, 2007; GAO et al., 2007; DINGMAN, 2015).

Segundo Beeson (2011), a lisimetria tem sido utilizada por mais de três séculos para estudar as relações entre solo, água e plantas. Os lisímetros são estruturas destinadas a mensuração de eventos de precipitação, evaporação e drenagem de maneira precisa (KIRKHAM, 2005), uma vez que, inicialmente, os lisímetros foram desenvolvidos para quantificar e qualificar a água do solo percolada em estudos hidrológicos (CAMPECHE, 2002).

Este método foi considerado por Farahani et al. (2007) um dos melhores para a determinação da ET_c. Sua constituição envolve vários equipamentos, podendo se utilizar desde sistemas mecânicos, eletrônicos, diretos ou mistos e até sistemas hidráulicos (HOWELL, 2004).

Os lisímetros devem ser preenchidos com solo, mantendo a mesma sequência de horizontes do solo original. Silva (2005) comenta que, os lisímetros quando bem instalados, possibilitam medidas precisas da ET, principalmente quando os mesmos são preenchidos corretamente, pois desta forma, o perfil de solo no seu interior assemelha o máximo possível das camadas de solo da área externa.

Pereira et al. (2002) comentam que tais estruturas se justificam apenas em condições experimentais com observações rigorosas das condições de contorno que visam minimizar os efeitos advectivos principalmente em época de deficiência hídrica. Neste sentido, os lisímetros devem ser locados de tal forma que obstáculos não alterem a radiação incidente e/ou o padrão do vento (VIANA, 2000).

Dentre os fatores que pode afetar os valores de ET pelos dados lisimétricos estão os efeitos da advecção, dimensões do lisímetro, umidade do solo em seu interior, espessura das paredes do lisímetro, além da distância entre elas, a altura de suas bordas ao nível do solo, e as diferenças de densidade entre a cultura implantada no interior e fora do lisímetro (MIRANDA et al. 1999). Para ocorrer a diminuição dos efeitos das paredes do lisímetro sobre a ET medida, estas devem ser construídas com a menor espessura possível, reduzindo ao máximo a abertura existente entre as paredes interna e externa (HOWELL; MCCORMICK; PHENE, 1985).

Os lisímetros podem ser divididos em duas grandes categorias (MACHADO; MATOS 2001; ALLEN et al., 2011):

- Lisímetros não pesáveis, também chamados de volumétricos. Nesta categoria destacam-se: os lisímetros de drenagem, tradicionalmente os mais conhecidos pela sua simplicidade no manuseio, porém com algumas restrições para a determinação da ET em períodos diários, sendo freqüentemente utilizados em áreas de alta precipitação (SILVA et al., 1999a) e, os lisímetros com lençol freático constante, estes utilizados com maior frequência quando comparado aos de drenagem, pois apresentam maior facilidade em sua operação, possibilitando medidas com boa precisão em períodos semanal ou mensal, em áreas onde há um lençol freático com nível alto, mantendo-se essencialmente no mesmo nível dentro do lisímetro.
- Lisímetros de pesagem, podendo ser mecânica, eletrônica, hidráulica e de flutuação. Estes apresentam resultados com maior confiabilidade quando comparados aos lisímetros não pesáveis (ALLEN et al., 1991). Esses são equipados com mecanismos de pesagem por células de carga nos mais modernos (SILVA et al., 1999b), permitindo, assim, a automatização da coleta de dados com células instaladas sob lisímetro. De acordo com Pereira et al. (2002), as células de carga medem uma corrente elétrica que se altera continuamente em função de deformações causadas pela variação da massa sustentada. Com o desenvolvimento de novas técnicas construtivas e a queda nos custos das células de carga e dos sistemas de aquisição de dados, os lisímetros de pesagem se tornaram de fácil construção e de baixo custo.

A exatidão de um lisímetro de pesagem depende da resolução, precisão e da acurácia das células de carga utilizadas. Quando bem manejados, fornecem dados mais precisos em períodos de tempo curtos. A ET pode ser determinada em períodos inferiores a 30 minutos, tornando-se um equipamento de grande importância quando se pretende trabalhar com medidas de evapotranspiração em tempo real (HOWELL; MCCORMICK; PHENE, 1985; MAREK et al., 1988; PRUITT; LOURENCE, 1985; ALLEN et al., 1991; SILVA et al. 1999b).

2.6.1.2. Métodos indiretos

Dentre os métodos indiretos, destaca-se o método padrão para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o): o método de Penman-Monteith. Allen et al. (1994)

recomendaram o uso de dados horários na equação de Penman-Monteith, porém para estimar os requisitos de irrigação para a palma de óleo, os dados semanais geralmente foram mais adequados, uma vez que a ET acumulada em uma semana, provavelmente não excederá 40 mm e o déficit crítico para a cultura tende a ser maior do que isso.

Para uma maior exatidão dos dados, a precipitação deve ser corrigida para as perdas por escoamento superficial, estes tendendo a ocorrer durante uma precipitação intensa, quando a capacidade de infiltração do solo é excedida. A quantidade de escoamento depende da intensidade da precipitação e da capacidade de infiltração do solo, que por sua vez depende, em parte, do teor de água do solo. (MAENE; CHONG, 1979; KEE; CHEW, 1996).

2.6.2. Coeficiente de cultivo (Kc)

Com a ET da cultura (ETc) de interesse obtida pelo lisímetro e a evapotranspiração de referência (ETo), baseada nos dados meteorológicos da região onde a cultura foi instalada e estimada por Penman-Monteith, pode-se determinar o coeficiente de cultivo (Kc). Este coeficiente indica a resposta da planta em atender as exigências atmosféricas durante o ciclo da cultura, sendo requerido nas etapas de dimensionamento de sistemas e manejo da irrigação (LASCANO; SOJKA, 2007).

O Kc pode ser dividido, segundo Allen et al. (1998), em Kc simples e Kc duplo. O primeiro pode ser determinado a partir da razão direta entre ET e ETo. O segundo fragmenta-se em coeficiente de cultivo basal (Kcb), determinado pela razão entre T e ETo e, coeficiente de evaporação (Ke), adquirido por meio da razão entre E e ETo.

Ainda de acordo com Allen et al. (1998), no Kc simples a evaporação e a transpiração estão combinadas em um componente (ET), com isso não há a possibilidade de se determinar a demanda hídrica fragmentada na planta e no solo. No Kc duplo isto não ocorre, pois, ao fragmentar ET em E e T, portanto Ke e Kcb, determinam-se o consumo específico da planta e do solo em relação à demanda atmosférica. Dessa maneira, o manejo de irrigação pode ser melhorado, otimizando a aplicação de água às culturas em curtos espaços de tempo.

Para a palma de óleo, Henson (1995) encontrou um ETc aproximadamente igual a ETo, dando um coeficiente de cultivo de 1,0. Ling (1979) também descobriu que ETc era aproximadamente Ec para a palma imatura em um lisímetro, contudo, a evaporação do tanque classe A era consistentemente mais baixa quando comparado ao lisímetro. Pabón Silva (1985)

usou um fator de colheita de 0,75, porém a base para utilização desse valor não foi muito clara.

2.6.3. Sistemas e métodos de irrigação

Vários métodos de irrigação têm sido utilizados na palma de óleo. Um dos mais simples e baratos, relatado por Lim, Chuah e Ho (1994), foi o controle do nível do lençol freático por inundações ou drenagens de bloqueio, porém este se aplica apenas em áreas relativamente planas e baixas. Outros métodos envolvem um investimento maior em bombas e tubulações.

Dentre as irrigações pressurizadas, o gotejamento vem ganhando maior espaço no mercado, visto a economia de água deste sistema. Alguns autores afirmam que o gotejamento na palma de óleo pode ser menos eficaz do que os sistemas por aspersão e superfície, pois não disponibiliza água em uma faixa maior de solo, deixando parte do sistema radicular sem água e este tipo de irrigação pode ter menos efeito sobre a umidade atmosférica que a aspersão convencional. (HENSON, 1992; CORLEY, 1996). Porém em trabalho realizado por Palat, Smith e Corley (2000), onde compararam gotejamento, aspersão convencional, microaspersão e sulcos de contorno, não houveram diferenças significativas na resposta ao rendimento entre os métodos, e sugeriram que o gotejamento pode realmente ser mais eficaz do que os métodos. A concentração de água aplicada em locais específicos pode permitir que o sistema radicular da planta se desenvolva mais intensamente e utilize a água de maneira mais eficiente, pois o crescimento do sistema radicular responde a aplicação de água e nutrientes.

2.7. Nutrição e fertirrigação

Como toda cultura, a palma de óleo necessita de alguns nutrientes considerados essenciais para seu crescimento e desenvolvimento ao longo do seu ciclo de vida. Um nutriente essencial pode ser definido por suas características únicas, tais como: em sua ausência, a planta se torna impossibilitada de completar seu ciclo de vida; possui função exclusiva na planta, não podendo ser substituída por outro elemento e; o elemento deve ser requerido diretamente ou em uma determinada etapa do metabolismo da planta (CORLEY, 1976; EPSTEIN; BLOOM, 2006; MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012).

Durante seu ciclo, esta necessita de 12 dos 13 nutrientes considerados essenciais para uma planta: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), enxofre (S),

sendo estes os macronutrientes, e zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe), boro (B), molibdênio (Mo) e níquel (Ni), os micronutrientes essenciais para a cultura. Quando ocorre a deficiência de um destes, esta pode ser expressada na planta como um sintoma visual, principalmente em folhas mais velhas, consequência da retranslocação interna. Elementos pouco móveis, como Ca e Fe, não se movimentam pelo floema, sendo suas deficiências observadas em seus meristemas (MARSCHNER, 2012).

A demanda de crescimento na cultura da palma de óleo, pode ser evidenciada durante o crescimento contínuo de sua estipe e produção, onde a remoção dos cachos significa que todos os nutrientes que compreendem essas novas partes serão adições. A posição das folhas e a inflorescência masculina são mais complexas. Os nutrientes para as folhas e as raízes são certamente vitais, e parte da aceitação é a demanda de crescimento durante o estágio de aumento do tamanho da coroa e do sistema radicular (KEE; CHEW, 1997; TINKER; NYE, 2000).

A demanda de alguns nutrientes essenciais para a palma de óleo, de acordo com Rodrigues et al. (2002), no primeiro e segundo ano de cultivo, respectivamente, são: N (180 e 225 g planta⁻¹); P (150 e 250 g planta⁻¹); K (150 e 200 g planta⁻¹); Mg (21 e 32 g planta⁻¹); B (2 e 4 g planta⁻¹); Cu (1,5 e 3 g planta⁻¹) e; Zn (1,5 e 3 g planta⁻¹)

O K e o N são os nutrientes mais requisitados pela planta em sua fase inicial e de desenvolvimento. O K proporciona na palma de óleo: o aumento da seção transversal do pecíolo, da área foliar, da taxa de crescimento da estipe (quando aplicado em conjunto com N), do peso seco da folha e no comprimento da ráquis (RUE; VARECHON, 1964; CORLEY; MOK, 1972; FOSTER; PRABOWO, 1996; KEE; CHEW, 1993; GURMIT, 1989; SIDHU; SINURAYA; HASYIM, 2004). Segundo Corley e Tinker (2016), aplicações de K durante o período inicial, pode fazer com que esta cultura entre em fase reprodutiva precocemente.

Uma maneira, além da convencional, de aplicação de K nas culturas é a fertirrigação, sendo esta definida como um método de aplicação de fertilizantes via sistema de irrigação, otimizando o uso de fertilizantes, tendo maior adesão em sistemas de irrigação localizada (OLIVEIRA; VILLAS BÔAS, 2008; BORGES; SILVA, 2011).

Dentre as fontes de K aplicáveis via fertirrigação na palma de óleo, destaca-se o cloreto de potássio (KCl), por este apresentar menor valor comercial por unidade de K₂O e maior solubilidade, quando comparado a outros fertilizantes potássicos (BORGES; SILVA, 2011). Em um sistema de equilíbrio nutricional, este funciona de maneira adequada, uma vez

que a absorção de K pode ser calculada de forma precisa e não ocorre entrada ou perda atmosférica, além de ocorrer pouca lixiviação deste fertilizante (CORLEY; TINKER, 2016).

Outra fonte de K utilizada na fertirrigação de algumas culturas, principalmente na cana-de-açúcar, é a vinhaça. Esta é um efluente derivado da cana-de-açúcar, oriundo da produção de álcool (etanol e butanol) e aguardente (RESENDE, 1984). Esta possui alto poder poluente, cerca de cem vezes maior quando comparado ao esgoto doméstico, e alto valor fertilizante. Rica em matéria orgânica, baixo pH, elevada corrosividade, altos índices de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), elevada temperatura na saída dos destiladores e considerada altamente nociva à fauna, flora, microfauna e microflora de água doce.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Características da área experimental

A área experimental está situada no Departamento de Engenharia de Biosistemas, localizada na Fazenda Areão da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), no município de Piracicaba-SP, localizado nas seguintes coordenadas geográficas: 22°41’58’’S; 47°38’42’’W e a 511 m de altitude (Figura 3).

Figura 3 - Localização e vista geral da área experimental
Fonte: Google Earth (2012)

O solo foi identificado como Nitossolo Vermelho eutrófico (série “Luiz de Queiroz”), textura argilosa, de acordo com os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (EMBRAPA, 2006). A declividade média do terreno é de 5%.

3.2. Características climatológicas

O clima de Piracicaba foi classificado segundo o sistema de Köppen como sendo do tipo Cwa, denominado tropical de altitude. As condições climáticas históricas, para o município, estão ilustradas na Figura 4, confeccionada com dados climatológicos do Campus Luiz de Queiroz de Piracicaba, SP, Departamento de Engenharia de Biosistemas, ESALQ/USP, dos anos de 1917 até 2016 (série de 100 anos).

Figura 4 - Temperatura máxima (Tmáx), média (Tméd) e mínima (Tmín) do ar (A), precipitação acumulada mensal (B), horas de insolação acumulada mensal (C) e evapotranspiração de referência (ETo) média mensal (D) em Piracicaba, SP (série histórica: 1917-2016)

Ao longo dos meses, verifica-se, uma variabilidade térmica com temperatura média mínima de 10,7 e máxima de 33,1°C. A temperatura atinge o máximo no mês de outubro e desce até o mês junho o mais frio.

A precipitação pluviométrica média anual é de 1266 mm, variando de 812 a 2017,7 mm. Embora a precipitação média anual atenda às necessidades da cultura, a distribuição irregular torna o município restrito à mesma. A estação seca do ano ocorre geralmente entre os meses de abril e setembro, sendo os meses de julho e agosto os mais secos com índices pluviométricos que não ultrapassam 30 mm. A época mais chuvosa concentra-se de dezembro a janeiro com valores médios superiores a 200 mm.

A insolação acumulada anual média que ficou na ordem de 2380 horas, sendo o maior valor observado no mês de agosto (282,2 h) e o menor em fevereiro (167,7 h). A umidade relativa mínima do ar tem média anual de 56%. Os valores anuais do déficit hídrico variam entre valores inferiores a 33,6 mm, em 1993, e o máximo de 393,6 mm em 2014.

Os dados utilizados para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) foram coletados na estação meteorológica (Figura 5) localizada ao lado da área experimental.

A estação possui como sensores:

- Termohigrômetro (modelo HMP45C – Vaisala): temperatura e umidade do ar;
- Piranômetro (modelo CMP3 – Kipp & Zonen): radiação global;
- Saldo radiômetro (modelo NR-Lite – Kipp & Zonen): saldo de radiação;
- Anemômetro sônico (modelo Windsonic 4 – Gill): velocidade e direção do vento;
- Barômetro (modelo PTB110 – Vaisala): pressão atmosférica;
- Pluviômetro (modelo TE525mm – Texas Electronics): precipitação;
- Painel de evaporação (modelo 255-200) associado a bitola de evaporação (modelo 255-100): Tanque Classe A;
- Células de carga (modelo 1-Z6F3/500kg⁻¹-HBM): lisímetro (ET).

Figura 5 - Estação meteorológica da fazenda Areão.
Fonte: Arquivo pessoal

3.3. Cultura

A cultura estudada neste trabalho foi a palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.), cultivar BRS C2501, um híbrido intraespecífico comercial do tipo tenera, proveniente de cruzamentos entre genitores tipo dura (de origem Deli) e psífera (de origem La Mé). Foram doadas cerca de 400 sementes pré germinadas da cultura pela Embrapa Amazônia Ocidental

(Figura 6). O estudo foi realizado durante a fase juvenil da cultura, que segundo Corley e Tinker (2016) esta fase dura entre dois e quatro anos de cultivo a campo.

Figura 6 - Sementes de palma de óleo doadas pela Embrapa Amazônia Ocidental.
Fonte: Arquivo pessoal.

3.4. Produção de mudas

A produção de mudas da palma de óleo foi realizada em casa de vegetação, localizada na área experimental do Departamento de Engenharia de Biosistemas (LEB) da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), em Piracicaba, SP.

A casa de vegetação era constituída por uma estrutura metálica galvanizada, medindo 6,4 m de altura na parte central; 12,8 m de largura e 22,5 m de comprimento, com janelas frontais. A cobertura consistia de filme de polietileno transparente de baixa densidade, e espessura de 0,15 mm. Na parte interna foi depositada uma camada de brita nº 1 com 6 cm de espessura, o suficiente para a cobertura total do solo, controlando a proliferação de plantas daninhas e facilitando o escoamento e drenagem do excesso de água (Figura 7).

Figura 7 - Visão interna da casa de vegetação (Fase de pré viveiro).
Fonte: Arquivo pessoal.

O sistema de irrigação era formado por duas linhas laterais com 10 microaspersores e 32 nebulizadores, espaçados em 2,2 m e 0,7 m, respectivamente (Figura 8). O comprimento total de cada linha lateral é de 22,5 m, instaladas a 4,0 m acima do solo. Os emissores são do tipo microaspersor bailarina invertido, com vazão de 12 L h^{-1} e 5 mm h^{-1} de intensidade de aplicação.

Figura 8 - Vista das linhas laterais (microaspersores na parte de baixo e nebulizadores em cima).
Fonte: Arquivo pessoal.

A pressurização do sistema foi realizada por uma moto bomba com potência de 1 cv, vazão máxima de 55 L min^{-1} , altura manométrica máxima de 63 m e um filtro de disco de 50 microns. Durante o período em que as mudas permaneceram no viveiro, foram realizadas manutenção e troca de alguns componentes dos emissores, tais como: microtubo, bailarina, corpo da bailarina e a base baioneta.

A produção foi dividida em duas fases: Fase de pré viveiro - com a repicagem da semente pré germinada em tubetes e; Fase de viveiro - com transplântio das mudas, com o próprio terriço, para um saco de plástico (0,3 x 0,3 x 0,4 m) preenchido com solo.

3.4.1. Fase de pré viveiro

A semeadura foi realizada no dia 27 de maio de 2014, sendo verificada a posição da semente no sentido caulículo/radícula, pois, de acordo com Barcelos et al. (2001), o caulículo que tem coloração branca, brilhante e pontiaguda deverá ficar voltada para cima e radícula com coloração amarronzada ou ligeiramente amarelada, foi direcionada para baixo (Figura 9). Foram semeadas em um buraco de 2 a 3 cm de profundidade na parte central do tubete e coberta com uma camada de substrato de aproximadamente 1 cm. Após a semeadura, um molhamento leve promoveu a acomodação do substrato no tubete e em torno da semente.

Figura 9 - Sementes pré-germinadas de palma de óleo, cultivar BRS C2501 (A), posição correta de semeadura (B) e semeadura da palma de óleo em tubetes (C).

Fonte: Arquivo Pessoal

Os tubetes, onde as sementes pré-germinadas foram semeadas eram de plástico, com volume de 188 cm³ contendo substrato comercial Plantmax[®]-HT (Tabela 1). Também foi utilizado um adubo de liberação lenta, o Osmocote[®], sendo aplicados 3 kg m⁻³, na semeadura

(TEIXEIRA et al., 2009). Este fertilizante tem um tempo de liberação em torno de 4 a 6 meses que contém 15% de N, 10% de P_2O_5 e 10% de K_2O e sua formulação também apresenta 3,8% de Ca, 1,5% de Mg, 3,0% de S, 0,02% de B, 0,05% de Cu, 0,5% de Fe, 0,1% de Mn, 0,004% de Mo e 0,05% de Zn. Neste período, nenhuma adubação adicional foi realizada. A limpeza manual das plantas invasoras foi feita sempre que necessário.

Tabela 4 - Caracterização química do substrato Plantmax®-HT.

pH	C	P	Al + H	K	Ca	Mg	CTC
	%	mg kg ⁻¹			cmol _c kg ⁻¹		
5,9	0,58	680	0,40	2,90	7,80	7,50	18,60

Todas as mudas permaneceram na fase de pré viveiro sob sombrite (50%) por dois meses (Figura 10) e tela de sombreamento (80%) aluminizada termo refletora (Aluminet®) nos períodos de baixa temperatura, ocorridos nos meses de junho e julho de 2014.

Figura 10 - Cobertura de sombrite nas mudas no período de inverno.

Fonte: Arquivo pessoal

As irrigações das mudas foram realizadas três vezes ao dia, pela manhã, ao meio dia e ao anoitecer, de modo a manter a umidade no substrato, favorecendo assim o pleno desenvolvimento das mudas. Nesta fase foi utilizado para irrigação um regador. A nebulização foi realizada duas vezes por dia por um período de 01 hora até serem transplantadas para sacos.

A emergência ocorreu no dia 06 de junho de 2014. Nos 119 dias após a semeadura (DAS) foi atingido o estágio de desenvolvimento de planta jovem apresentando três folhas lanceoladas e o sistema radicular bem desenvolvido, com raízes primárias, secundárias e

terciárias, estando a planta completamente autotrófica (BARCELOS et al., 2001). As perdas na fase pré-viveiro foram de 0,75%. Ao final do período de seis meses (177 DAS) as mudas apresentaram em média cinco folhas lanceoladas e altura de 18 cm. As etapas de desenvolvimento da palma de óleo na fase pré-viveiro em tubete pode ser observada na Figura 11.

Figura 11 - Emergência e crescimento das mudas de palma de óleo.
Fonte: Arquivo Pessoal

As variações das temperaturas média e mínima, bem como a radiação solar registradas no período são apresentadas na Figura 12. A temperatura máxima variou de 16,2 a 29,6°C; a temperatura mínima variou de 5,9 a 21,6°C. A maior amplitude térmica registrada na casa de vegetação foi de 24,8°C.

Figura 12 - Variação da radiação solar e temperatura mínima e média do ar na fase do pré-viveiro. Semeadura (Se); emergência (Em); emissão da 1ª folha (1F); 2ª folha expandida (2F); 3ª folha expandida (3F); 4ª folha expandida (4F); 5ª folha expandida (5F); transplantio (TP).

3.4.2. Fase de viveiro

Aos 177 DAS, todas as mudas foram transplantadas para sacos plásticos de 0,3 x 0,3 x 0,4 m e espessura de 0,28 mm. Os sacos utilizados possuíam furos 30 mm no fundo para permitir o escoamento do excesso de água. Foi utilizado, para o preenchimento dos sacos, o Latossolo Vermelho Amarelo, textura franco-arenosa (Série “Sertãozinho”), na camada superficial (0,0 - 0,2 m) e destorroadas e passadas em peneira de malha de 4 mm (Figura 13). Ao solo foi adicionado o substrato comercial Plantmax®, na proporção de uma parte de substrato para três partes de solo. Os sacos foram preenchidos e comprimidos quatro vezes antes de completar o enchimento ao nível de 0,05 m da bordadura.

Figura 13 - Preparação dos vasos para o transplântio das mudas de palma de óleo oriundas dos tubetes.
Fonte: Arquivo Pessoal

Para determinar a adubação das mudas nesta fase, foi realizada a análise química, sendo retirada uma amostra composta e enviada ao laboratório de análises químicas Pirasolo[®]. De acordo com o resultado (Tabela 5), não foi necessária correção com calagem para adequação do solo. A caracterização física, deste solo continha 71% de areia, 24% de argila e 5% de silte.

Tabela 5 - Análise química do solo colocado nos sacos para a produção de mudas de palma de óleo.

pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	S.B	CTC	V%	m%	S
CaCl ₂	g dm ⁻³	Resina mg dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³						mg dm ⁻³
5,6	18	2,0	0,6	19	9,0	20	1,0	29	49	59	3,0	3,0
	Cu		Fe			Zn		Mn				B
				DTPA								Água quente
						mg dm ⁻³						
	1,0		17			0,8		6,4				0,16

M.O – Matéria orgânica; S.B – soma de bases; CTC – capacidade de troca catiônica; V% - saturação de bases; m% - saturação de alumínio; DTPA - ácido dietilenotriaminopentaacético.

Para o transplante, foi aberta uma cova no centro dos sacos, utilizando um tubete como broca. Uma muda foi colocada na cova e o espaço restante foi preenchido de modo que o coleto das plantas permanecesse no mesmo nível do solo, após ligeira compactação. As fibras de casca de coco seco foram colocadas superficialmente como cobertura morta em todos os sacos. As mudas transplantadas foram dispostas no viveiro em triângulo equilátero, sendo a distância entre os sacos de 0,5 m na linha e 0,5 m na entrelinha.

As irrigações das mudas foram realizadas três vezes ao dia, pela manhã, ao meio dia e ao anoitecer, de modo a se manter a umidade do solo. Nesta fase foi utilizado como método de irrigação a localizada por microaspersão. A nebulização foi realizada duas vezes por dia (às 10h e às 15h).

No viveiro, todas as plantas receberam adubação mensal a partir do terceiro mês após o transplante (MAT) sugerida por Barcelos et al. (2001), sendo uma mistura de 12-17-10-3 (N-P-K-Mg), tomando-se o devido cuidado para que nenhuma muda sofresse restrição de nutrientes. Importante ressaltar que nesta fase não se objetivou a eficiência no uso dos fertilizantes, mas sim disponibilizar nutrientes necessários para que isso não se tornasse fator limitante para nenhum dos tratamentos.

3.5. Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi de blocos aleatorizados, com quatro tratamentos (doses de vinhaça) e três repetições, totalizando 12 parcelas (Figura 14). Os tratamentos aplicados foram: T1: Testemunha – irrigação com adubação química; T2: 50% da dose de potássio (K) recomendada para a palma de óleo sendo fornecida via fertirrigação com vinhaça e os outros 50% da dose de K foi fornecido com a adubação química; T3: 75% da dose de K via fertirrigação com vinhaça e os outros 25% da dose de K via adubação química; T4: 100% da dose de K via fertirrigação com vinhaça (Tabela 6).

Figura 14 - Croqui ilustrativo da área experimental

Tabela 6 - Tratamentos de potássio (K) fornecido por meio da fertirrigação com vinhaça e/ou com adubação química na cultura de palma de óleo.

Tratamento	Via vinhaça	Via adubação química
T1	0%	100%
T2	50%	50%
T3	25%	75%
T4	100%	0%

Cada tratamento foi fertirrigado de forma individualizada nas respectivas parcelas. O K foi tomado como nutriente de referência na fertirrigação da palma de óleo com aplicação de vinhaça. As lâminas necessárias à aplicação das diferentes doses de potássio foram calculadas por meio da norma CETESB (2006) (Equação 1).

$$Ta = \frac{[(0.05CTC - ks)3744 + D]}{kvi} \quad (1)$$

Em que: Ta - a taxa de aplicação de vinhaça ($m^3 ha^{-1}$); CTC - capacidade de troca catiônica ($cmol_c dm^{-3}$); ks - concentração de K no solo ($cmol_c dm^{-3}$); D - absorção de K pela cultura ($kg ha^{-1}$) e; kvi - concentração de K na vinhaça ($kg de K_2O m^{-3}$).

A área experimental foi constituída de 12 parcelas experimentais, cada uma foi composta por 12 plantas distribuídas em 03 linhas com 04 plantas cada, sendo as 02 plantas centrais, consideradas úteis. O plantio foi realizado no espaçamento de 9 m em triângulo equilátero, totalizando $143 plantas ha^{-1}$ (Figura 15). Uma das parcelas do T1 foi monitorado o consumo hídrico por meio de 04 lisímetros, sendo que essa parcela foi diferenciada das demais, tendo 13 plantas distribuídas em duas linhas com 04 e uma linha com 05 plantas,

sendo as 03 plantas centrais consideradas úteis, onde foram instalados os três lisímetros de evapotranspiração e um de evaporação do solo.

Figura 15 - Esquema de plantio de cada parcela.

3.6. Preparo da área

No dia 15 de dezembro de 2014 foi aplicado na área o herbicida Nortox S.A. (ingrediente ativo glifosato em sua formulação), na dose de 5 L ha^{-1} , utilizando-se de pulverizador com barra central montado em trator.

O preparo do solo para implantação do experimento na área experimental foi de forma convencional e realizado entre os dias 8 e 12 de junho de 2015 por meio de destoca, duas passadas da grade de discos (grade pesada) e uma de grade niveladora (Figura 16).

Figura 16 - Passagem de grade pesada (A) e área após da passagem da grade niveladora (B).
Fonte: Arquivo Pessoal

3.6.1. Análise química e físico-hídrica do solo

Antes da implantação da área experimental foi realizada a caracterização química do solo, sendo coletadas amostras (Figura 17) nas profundidades de 0,0 - 0,2 m; 0,2 - 0,4 m; 0,4 - 0,6 m, visando identificar a necessidade de correção da fertilidade do solo. Após a aplicação dos fertilizantes (adubos químicos e vinhaça) foram realizadas novas coletas nas profundidades de 0,0 - 0,2 m e 0,2 - 0,4 m, em cada tratamento, para uma caracterização pós fertirrigação (Apêndice A).

Figura 17 - Coleta de solo da área experimental para análise química.
Fonte: Arquivo Pessoal

As análises físico-hídrica do solo da área experimental foram realizadas no Laboratório de Física do Solo, do Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ-USP, sendo obtido a média de três repetições nas profundidades de 0,0 - 0,2; 0,2 - 0,4 e 0,4 - 0,6 m em duas diferentes áreas de coleta, totalizando 18 amostras. Adotou-se a metodologia

de Bouyoucos para análise granulométrica, conforme as recomendações de Claessen et al. (1997). A composição textural e a classificação do solo da área experimental podem ser observadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Composição textural da área experimental.

Camada (m)	Areia	Silte	Argila	Classificação
	-----g kg ⁻¹ -----			
0,0-0,2	550	157	293	Média
0,2-0,4	595	141	263	Média
0,4-0,6	616	151	233	Média

Os pontos para a confecção das curvas de retenção de água no solo foram obtidos com auxílio de uma mesa de tensão para os pontos de 0,1; 2,0 e 4,0 kPa, e da câmara de Richards para os pontos de 10, 30, 50, 100, 500 e 15000 kPa. O ajuste da curva de retenção de água no solo foi realizado de acordo com a metodologia proposta por van Genuchten (1980), conforme as Equações 2 e 3.

$$\theta = \theta_r \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha |\psi_m|)^n \right]^m} \quad (2)$$

$$m = 1 - \frac{1}{n} \quad (3)$$

Em que: θ (ψ_m) – umidade volumétrica em função do potencial mátrico, em m³ m⁻³; θ_r – umidade volumétrica residual do solo, em m³ m⁻³; θ_s – umidade volumétrica de saturação do solo, em m³ m⁻³; n e m – parâmetros de regressão da equação, adimensionais; α – parâmetro com dimensão igual ao inverso da tensão, em kPa⁻¹; e ψ_m – potencial matricial de água no solo, em kPa.

O modelo de retenção de água no solo foi ajustado para cada profundidade na área experimental. Os parâmetros do modelo, θ_r , n e α foram estimados com base nos dados observados de retenção de água no solo de nove pontos. A obtenção dos parâmetros foi realizada mediante ao uso da planilha eletrônica (Microsoft Excel[®]) pelo método dos mínimos quadrados. O parâmetro ‘m’ é dependente de ‘n’ e foi calculado pela Equação 3. O parâmetro θ_s foi determinado por meio da mensuração da amostra do solo saturado. No ajuste foram

utilizados os valores médios. O modelo de retenção de água no solo e os parâmetros estão apresentados na Figura 18.

Figura 18 - Curvas de retenção de água no solo nas profundidades de 0,0-0,2 (A), 0,2-0,4 (B), 0,4-0,6 m (C) na área experimental.

Os parâmetros obtidos a partir da curva de retenção de água no solo podem ser observados na Tabela 8. De acordo com sugestão de Kirkham (2005) e Flumignan (2011), pelo fato do solo da área experimental ter sido identificado como de textura argilosa, foram consideradas as tensões de 30 kPa e 1500 kPa as condições de umidade na capacidade de campo (θ_{cc}) e no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}), respectivamente.

Tabela 8 - Caracterização físico-hídrica do solo na área experimental da palma de óleo.

Camadas	θ_r	θ_s	CAD	α	m	n	d_s	macro	micro	P_{total}
m		$m^3 m^{-3}$		kPa^{-1}			$kg dm^{-3}$		%	
1	0,28	0,53	0,106	0,049	0,292	1,42	1,56	12,4	40,5	52,9
2	0,31	0,56	0,091	0,077	0,286	1,41	1,41	13,7	41,9	55,6
3	0,30	0,57	0,096	0,084	0,277	1,39	1,38	15,0	41,8	56,8

1 – camada de 0,0 - 0,2 m; 2 – camada de 0,2 - 0,4 m; 3 – camada de 0,4 - 0,6 m; θ_r – umidade volumétrica residual do solo; θ_s – umidade volumétrica de saturação do solo; CAD – capacidade de água disponível; α – parâmetro com dimensão igual ao inverso da tensão; ‘m’ e ‘n’ – parâmetros de regressão da equação; d_s – densidade do solo; macro e micro – macroporosidade e microporosidade do solo; P_{total} – porosidade total do solo.

Os valores de θ_{cc} e θ_{pmp} variam pouco entre as áreas de coleta e as camadas, sendo que os valores de θ_{cc} foram entre 0,34 e 0,40 $m^3 m^{-3}$ e θ_{pmp} entre 0,28-0,34 $m^3 m^{-3}$. Os valores da capacidade de água disponível (CAD) entre as camadas foram de 0,091 a 0,106 $m^3 m^{-3}$.

3.6.2. Correção da acidez do solo

Para correção da acidez do solo foi utilizado o calcário dolomítico (Horical – PRNT 90) em toda área, sendo aplicados cerca de 0,8 t ha^{-1} deste corretivo (Figura 19). Esse valor foi obtido por meio do cálculo de necessidade de calagem (Equação 4), levando-se em consideração os dados obtidos pela análise química do solo (Anexo 1). O valor de saturação de base desejada (V_2) utilizado foi 60%, baseado nos relatos de Aguiar et al. (2014) e Rosa (2002) no cultivo de coco e Gamarra (2013) que utilizou na cultura da palma de óleo no Pará.

Figura 19 - Correção do solo da área experimental da cultura da palma de óleo.

Fonte: Arquivo Pessoal

$$NC = \frac{(V_2 - V_1)Tf}{100} \quad (4)$$

Em que: NC – necessidade de calagem ($t\ ha^{-1}$); V_1 – valor da saturação de bases trocáveis no solo antes da correção (%); V_2 – valor da saturação de bases trocáveis desejada (%); T – capacidade de troca catiônica ($cmol_c\ dm^{-3}$); f – fator de correção do poder reativo de neutralização total (PRNT), dada pela Equação 5.

$$f = \frac{100}{PRNT} \quad (5)$$

3.6.3. Instalação do sistema de irrigação

Para irrigação da palma de óleo foi instalado na área o sistema de irrigação localizada por gotejamento. A linha principal foi constituída por dois cavaletes com 14 saída no total (06 saídas no primeiro e 08 saídas no segundo) e com linhas compostas por mangueiras de polietileno de alta densidade (PEAD) de 32 mm, além de linhas de derivação saindo delas formadas por mangueiras lisas de polietileno de baixa densidade (PEBD) de 16 mm de diâmetro. Todas essas linhas foram colocadas em valetas abertas com auxílio de um trator (Figura 20).

Figura 20 - Abertura de sulcos para instalação da linha principal e das linhas de derivação da irrigação.
Fonte: Arquivo pessoal.

Em cada linha de derivação foram acoplados 04 microtubos (diâmetro interno de 4,5 mm), tendo estes a função de alimentar as fitas gotejadoras, fornecendo assim água às plantas. Cada fita gotejadora era constituída por 05 emissores integrados tipo pastilha e não compensante, da marca Netafim (modelo Super Thyphon), espaçados 0,75 m entre eles, localizados a 0,5 m do caule, tendo vazão individual de 2 L h^{-1} .

As parcelas experimentais foram irrigadas individualmente, com controle da água de irrigação realizado por meio da abertura e fechamento de registros por automatização. Foi medida a curva característica (vazão x pressão) na tomada de água da área experimental. Nas saídas para as parcelas, foram instaladas válvulas reguladores de pressão de 103,42 kPa e 68,95 kPa. A água utilizada para irrigação foi bombeada do sistema do reservatório de água localizado na Fazenda Experimental e tem as suas características químicas descritas na Tabela 9. Essa água foi classificada como C1S2 pela classificação feita por Ayers e Westcot (1985), sendo esta uma água com baixo risco de salinidade, adequada para irrigação.

Tabela 9 - Caracterização química da água utilizada na irrigação da palma de óleo.

Parâmetro	Unidade	Valor	VMP**
Alcalinidade Carbonato	mg L ⁻¹	0	-
Alcalinidade Bicarbonato	mg L ⁻¹	15,8	-
Alcalinidade Total (2CO ₃ ²⁻ +HCO ₃)	mg L ⁻¹	15,8	500
Nitrato (N-NO ₃)	mg L ⁻¹	0,8	10
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg L ⁻¹	11,9	250
Fósforo (P)	mg L ⁻¹	0,06	0,1
Nitrogênio Amoniacal (N-NH ₃)	mg L ⁻¹	0,1	1,5
Potássio (K ⁺)	mg L ⁻¹	2,3	-
Cálcio (Ca ²⁺)	mg L ⁻¹	1,7	75
Magnésio (Mg ²⁺)	mg L ⁻¹	1,0	150
Condutividade elétrica (CE)	mS cm ⁻¹	0,05	1,5
pH		6,8	6,0 a 9,5
Acidez (CaCO ₃)	mg L ⁻¹	6,3	-
Dureza Total* (CaCO ₃)	mg L ⁻¹	12,8	500

* Dureza total calculado com base no equivalente de carbonato de cálcio segundo Franson (1995): 2,497(Ca, mg L⁻¹) + 4,116(Mg, mg L⁻¹) + 1,792(Fe, mg L⁻¹) + 1,822(Mn, mg L⁻¹) + 1,531(Zn, mg L⁻¹).

Para que houvesse o suprimento de água adequado em todas as parcelas experimentais, suporte aos cálculos de lâmina bruta e tempo de irrigação, foi realizada a avaliação da uniformidade de emissão de água pelo sistema de irrigação localizada.

Os valores do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e Uniformidade Estatística (UE), foram obtidas por meio de coletas a campo e calculadas pelas Equações 6, 7 e 8.

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |q_i - \bar{q}|}{N \bar{q}} \right) \quad (6)$$

$$CUD = 100 \frac{\bar{q}_{25}}{\bar{q}} \quad (7)$$

$$UE = 100 \left(1 - \frac{S_q}{\bar{q}} \right) \quad (8)$$

Em que: CUC - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, %; N – número de observações; q_i – volume de água no i-ésimo coletor, $L h^{-1}$; $\bar{q}$ – volume médio de água; CUD – Coeficiente de Uniformidade de Distribuição, %; q_{25} – valor dos 25% menores volumes de água; UE – Uniformidade Estatística, %; S_q – desvio padrão.

Esses parâmetros de avaliação de desempenho da irrigação foram classificados como excelentes, resultando em valores de 96,2% para CUC; 96,2% para CUD; e 95,4% para UE, sendo superiores aos mínimos recomendados, de 90%, 85% e 90%, para os respectivos parâmetros.

A pressão de operação foi medida em dois pontos extremos do sistema de irrigação, os valores médios foram de 1,26 e 1,24 $kgf cm^{-2}$. Os emissores estão sob pressão próxima de 1,25 $kgf cm^{-2}$, proporcionando vazão média de 1,85 $L h^{-1}$.

3.6.4. Manutenção dos lisímetros de pesagem

A área contém 04 lisímetros de pesagem, descritos na (Tabela 10). Para manutenção destes foram realizadas a retirada do solo do seu interior e, posteriormente, retirada dos mesmos, com auxílio de caminhão munck (Figura 21), para remoção de ferrugem, realização de nova pintura, troca dos drenos e troca da infraestrutura elétrica dos poços.

Tabela 10 - Descrição dos lisímetros de pesagem utilizados para determinação do consumo hídrico da palma de óleo.

	Finalidade	Diâmetro	Profundidade	Área
Lisímetro 1	ET* - Fase adulta	4,0 m	1,3 m	12,56 m ²
Lisímetro 2	ET - Fase de desenvolvimento	2,7 m	0,8 m	5,72 m ²
Lisímetro 3	ET - Fase inicial	1,6 m	0,7 m	2,01 m ²
Lisímetro 4	Evaporação	0,8 m	0,6 m	0,52 m ²

*ET – evapotranspiração

Figura 21 - Retirada dos lisímetros de pesagem com caminhão munck.
Fonte: Arquivo Pessoal

Os lisímetros 1 e 2 são compostos por um tanque de aço carbono, as espessuras da chapa lateral e do fundo são 4,7 mm e 6,2 mm, respectivamente. Já, os lisímetros 3 e 4 apresentam chapas de 4,7 mm de espessura na lateral e no fundo, sendo estes circundados por outro tanque externo feito de concreto armado com espessura de 0,18 m, para isolá-lo do solo externo, e um fosso possibilitando o acesso ao tanque de drenagem e células de carga.

O piso da construção dos lisímetros foi deixado com solo original, apenas tendo sido recoberto por uma camada de, aproximadamente, 0,1 m de brita nº 1 (Figura 22A). Isso foi realizado para ajudar na drenagem da água no interior da construção, principalmente na ocasião da abertura dos registros de drenagem.

Logo após a manutenção os lisímetros foram recolocados no campo e preenchidos com solo da área experimental (Figura 22B e C). Para isso, foi realizada uma escavação com máquina retroescavadeira, sendo o solo retirado em quatro camadas: 0,0-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 e 0,6-1,3 m, referente ao de maior profundidade (lisímetro 1).

As camadas de solo foram separadas e acondicionadas aos lisímetros manualmente, afim de reconstituir as condições iniciais do solo. No fundo dos mesmos depositou-se uma camada de 0,1 m de brita nº 1, sendo esta forrada com uma manta poliéster tipo Bidin.

Figura 22 - Preenchimento do fundo do poço com brita (A); lisímetro sendo recolocado na área (B); preenchimento com solo da área experimental no lisímetro (C).
Fonte: Arquivo Pessoal

Todos os lisímetros com fossos (lisímetros 1 e 2) receberam infraestrutura elétrica com aterramento, dispondo de tomadas de 110 e 220 V de tensão, além de lâmpadas no túnel e abaixo dos tanques lisimétricos (Figura 23). Os lisímetros 3 e 4 receberam eletricidade apenas para alimentação das células de carga.

Figura 23 - Instalação da parte elétrica no interior dos poços dos lisímetros 1 e 2.
Fonte: Arquivo Pessoal

Após a instalação da parte elétrica ter sido concluída, foram instaladas as células de carga ao datalogger (no início do experimento foi utilizado um CR800 e após 05 meses este foi substituído por um CR1000 da Campbell) para coletar os dados dos lisímetros (Figura 24).

Figura 24 - Manutenção e calibração do datalogger (A); instalação das células de carga (B) e do datalogger (C) na área experimental.

Fonte: Arquivo Pessoal

3.6.5. Calibração e análise de desempenho dos lisímetros

Foi realizada a calibração dos 04 lisímetros de pesagem descritos acima. O sistema de pesagem foi constituído por 03 células de carga para os lisímetros 1 e 2, com disposição triangular, formando um ângulo de 120° entre elas (Figura 25A e B); e uma célula de carga individual para os lisímetros 3 e 4 (Figura 25C e D).

Figura 25 - Esquema de construção dos Lisímetro 1 e 2 (A); detalhe da disposição das sapatas onde se localizam as células de carga (B); Armação utilizada para a instalação dos lisímetros 3 e 4 (C); e disposição da célula de carga abaixo da armação que sustenta o lisímetro (D).

Todas as células de carga utilizadas foram da marca Omega Engineering Inc.1, modelo LCCA, de capacidade individual de 13.600, 4.535, 910 e 227 kg, para os lisímetros 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Segundo o fabricante, a acurácia das células de carga é 0,037% do fundo de escala, ou 0,4; 0,3; 0,17 e 0,17 mm de equivalente de evapotranspiração por célula de carga, para os lisímetros 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

No processo da calibração foi utilizado o datalogger CR800 Campbell Sci. juntamente com um multiplexador de canais diferenciais (AM 416 Relay Multiplexer, Campebell Sci.) sendo realizadas leituras a cada três segundos, com média a cada minuto. As leituras foram armazenadas utilizando-se a instrução para este tipo de sensor do datalogger e a opção para alta resolução com “input range” de 10 mV (resolução de 0,33 mV). Para todas as células serão utilizadas 5000 mV como voltagem de excitação.

A calibração do lisímetros foi feita a campo e, para evitar a mudança de massa do sistema devido à evaporação da água do solo, os lisímetros foram cobertos com uma lona plástica. Inicialmente, foi registrada a média da milivoltagem do sistema sem as massas padrões (sacos de brita nº 1 hermeticamente fechados), teoricamente descarregado. Em

intervalos de 02 minutos foram acrescentados aos lisímetros as massas padrões de 1, 2, 10 e 15 kg, pesados em balança com acurácia de 0,01 g. O primeiro minuto da medida foi descartado para análise, pois inclui as oscilações provocadas pelo acréscimo e decréscimo do peso. Em seguida, retirou-se os pesos em intervalos de 2 minutos na mesma sequência da sua adição.

Os pesos utilizados em cada lisímetro assim como o valor máximo de peso acrescentado em cada um deles foram utilizados para obtenção de um “range” de equivalente de água, para os lisímetros 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Com isso, foi feita uma relação linear entre o somatório das saídas de sinal das três células de carga (lisímetros 1 e 2) e da célula individual (lisímetros 3 e 4) e, a massa adicionada, em equivalente de milímetros de água ($mV \times mm$).

A exatidão dos equipamentos foi determinada por meio do erro padrão, sendo este a dispersão dos valores de massa mensurados pelos lisímetros em relação aos valores das massas padrões. A acurácia foi determinada por meio do coeficiente de determinação (r^2) obtida pela regressão linear de cada equipamento. A sensibilidade foi obtida pela observação dos mínimos valores de mudança de massa do equipamento em espaços de 15 minutos, obtendo assim o produto da resolução do datalogger com o multiplicador de cada célula ($kg \ mV^{-1}$). McFarland et al. (1983) e Fisher e Allen (1991) utilizaram a seguinte fórmula para o cálculo do multiplicador:

$$M = \frac{CT}{SNE} \quad (9)$$

em que: M – multiplicador da célula de carga ($kg \ mV^{-1}$); CT – capacidade total de cada célula (kg); SN – saída nominal de cada célula ($mV \ V^{-1}$); E – voltagem de excitação (V).

Para determinação da evapotranspiração da palma de óleo na fase inicial de desenvolvimento (Equação 10), o intervalo das leituras ocorreu a cada 5 segundos, com média a cada 15 minutos. Foram armazenados os dados de saída das células de carga (mV) e o valor total foi calculado em planilha eletrônica. A variação negativa de massa dos lisímetros em um determinado espaço de tempo corresponde a quantidade de água perdida para a atmosfera naquele período, como mostra a relação:

$$ET_c = \frac{M_i - M_{i-1}}{A \Delta T} \quad (10)$$

em que: ET_c - evapotranspiração da cultura, (mm tempo^{-1}); M_i - massa atual do lisímetro; M_{i-1} - massa do lisímetro no tempo anterior; A – área do lisímetro; ΔT – período de tempo.

Pela relação acima, espera-se que em um dia considerado normal (ausência de precipitação ou irrigação) ocorram valores negativos de variação de massa, pois valores atuais são sempre menores que os valores de massa da ocorrência anterior. Para o melhor entendimento do processo, foi estipulado que: valores negativos como a saída de água por evapotranspiração ou drenagem e valores positivos como a entrada de água por irrigação ou precipitação.

Após a calibração e análise de desempenho definidas, a determinação da evapotranspiração foi realizada. Desta forma, três dos lisímetros de pesagem foram utilizados para determinar a evapotranspiração horária e diária da palma de óleo irrigada (Lisímetros 1, 2 e 3) e a um designado para a determinação da evaporação do solo (Lisímetro 4), determinando assim sua demanda hídrica nos diversos estádios de desenvolvimento da cultura.

A construção e montagem dos lisímetros foi realizada no ano de 2000 para determinação da evapotranspiração da cultura da Lima Ácida “Tahiti”, detalhes da construção montagem e manutenções anteriores foram descritas por Campeche (2002), Silva (2005), Alves Jr (2006) e Barboza Jr (2007).

3.6.6. Abertura de covas e transplântio da cultura a campo

As covas foram abertas no dia 22 de outubro de 2015. Foi utilizada para a abertura uma broca acoplada a tomada de potência do trator que fazia covas de 0,9 m de diâmetro por 0,7 m de profundidade (Figura 26).

Figura 26 - Abertura das covas para o transplântio das mudas de palma de óleo.
Fonte: Arquivo Pessoal

O transplântio das mudas (Figura 27) para o campo foi realizado no dia 23 de outubro de 2015 no espaçamento de 9 m em triângulo equilátero (9 m entre plantas e 7,8 m entre linhas). As mudas se encontravam com altura média de 1,5 m e número médio 11 folhas por planta.

Figura 27 - Transplântio das mudas de palma de 6leo no campo.
Fonte: Arquivo pessoal.

Foi aplicado a aduba63o de plantio no sulco de 450 g de superfosfato simples por planta (Figura 28). N3o ocorreram perda de plantas durante o transplântio.

Figura 28 - Aduba63o fosfatada no transplântio da palma de 6leo.
Fonte: Arquivo Pessoal

3.6.7. Manejo da irrigação

A quantidade de água a ser aplicada foi determinada por meio da evapotranspiração obtida pelo método da lisimetria de pesagem no tratamento controle, além do monitoramento da umidade do solo realizado por meio de sonda de capacitância Diviner[®]. Os tubos de acesso da sonda foram instalados dentro de cada lisímetro e outros instalados em alguns pontos da área, com a finalidade de comparar os perfis de umidade dentro e fora dos lisímetros. A umidade do solo foi mantida entre 0,35 e 0,40 m³ m⁻³, em turno de rega que variou de um a quatro dias para reposição da água evapotranspirada.

A água utilizada no experimento foi proveniente do sistema do reservatório de água localizado na Fazenda Experimental. Foi realizada análise da qualidade da água para verificar as características físico-químicas. A água utilizada na irrigação foi classificada como C1, ou seja, água com baixo risco de salinidade o que é considerada adequada ao uso para a irrigação.

3.6.8. Fertirrigação com vinhaça

A vinhaça utilizada nos tratamentos fertirrigados foi coletada na Usina Costa Pinto do grupo Raízen, no município de Piracicaba-SP. A estrutura para realizar a fertirrigação foi composta de três caixas d'água, sendo uma para a aplicação de vinhaça (dosador de 0,15 m³), e duas para o armazenamento da vinhaça e água (ambas com 5 m³), sendo realizada de forma convencional, aplicando-se pelo mesmo sistema com uma bomba centrífuga de 0,5 cv e um filtro de disco de 125 mesh (Figura 29A e B). Na caixa d'água da vinhaça foi montado um sistema de agitação com objetivo de evitar a deposição da matéria orgânica. Nas Figura 29C e D observa-se o momento da retirada e do recebimento da vinhaça e a estrutura montada para aplicação dos tratamentos, respectivamente.

Figura 29 - Equipamento para armazenamento e aplicação da vinhaça via fertirrigação (A); tubo por onde a vinhaça entra no sistema (B); coleta de vinhaça na usina (C) e abastecimento dos tanques de armazenagem de vinhaça na área (D). Fonte: Arquivo Pessoal.

No dia da aplicação uma amostra de vinhaça foi coletada para análise de pH, condutividade elétrica (CE), potássio, cálcio, sódio, nitrato e enxofre (Tabela 11).

Tabela 11 - Caracterização química da vinhaça utilizada na fertirrigação da palma de óleo.

Parâmetros	Unidades	Valores
pH		4,70
Densidade	g mL ⁻¹	0,99
Resíduo 110	g L ⁻¹	53,86
Matéria orgânica (M.O.)	g L ⁻¹	40,07
Resíduo mineral solúvel (R.M.S)	g L ⁻¹	13,79
Carbono Total	g L ⁻¹	22,26
Resíduo Mineral Total (R. M. T)	g L ⁻¹	14,06
Resíduo Mineral Insolúvel (R.M.I)	g L ⁻¹	0,27
Nitrogênio total	g L ⁻¹	1,46
Fósforo (P ₂ O ₅)	g L ⁻¹	0,24
Potássio (K ₂ O)	g L ⁻¹	4,85
Cálcio (Ca)	g L ⁻¹	1,87
Magnésio (Mg)	g L ⁻¹	0,33
Enxofre (S)	g L ⁻¹	1,27
Cobre (Cu)	mg mL ⁻¹	1
Mangânes (Mn)	mg mL ⁻¹	7
Zinco (Zn)	mg mL ⁻¹	3
Ferro (Fe)	mg mL ⁻¹	39
Boro	%	0,04

Métodos: Magnésio, Ferro, Manganês, Zinco, Cobre e Cálcio (Mg, Fe, Mn, Zn, Cu e Ca) espectrofotômetro de absorção atômica extraído em água, HCl, Citrato neutro de amônio (CNA) e ácido cítrico 2%; Sódio (Na) fotometria de chama extraído em água e HCl; Enxofre (S) gravimétrico extraído em água e HCl; Boro (B) colorimetria extraído em água e HCl/azometina H; Cloro (Cl) Método de Mohr.

3.6.9. Tratos culturais

A aplicação de defensivo contra carrapatos foi realizado no dia 19 de outubro de 2015 (Figura 30), com auxílio de maquinário disponibilizado pela prefeitura do campus ESALQ/USP.

Figura 30 - Aplicação de defensivo para o controle de carrapatos na área experimental.
Fonte: Arquivo Pessoal

Durante a produção das mudas (Fase de viveiro) e em alguns períodos na fase de campo, foram encontradas lagartas militar (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith; Ordem – Lepidoptera; Classe - Noctuidae) atacando as plantas (Figura 31).

Figura 31 - Lagartas militar (*Spodoptera frugiperda*) coletadas nas plantas da casa de vegetação (A) e planta atacada pela lagarta (B).
Fonte: Arquivo pessoal

Para o controle dessa praga, foi aplicado o inseticida Certero® (ingrediente ativo Triflumuron, que inibe a síntese de quitina, pertencente ao grupo benzoiluréia) nas plantas, sendo a calda composta por 3 mL do produto por 10 L de água. Essa lagarta também foi

relatada por Lemos et al. (2011) em plantas de palma de óleo cultivadas em monocultivo e em sistemas agroflorestais no município de Tomé-Açu, PA.

Nas mesmas fases em que ocorreram os ataques da lagarta, também houve a ocorrência de *Alternaria* (*Alternaria* sp.) (Figura 32). Para o controle desse fungo, foi aplicado o fungicida Dithane ® NT (classe de contato do grupo químico alquilenobis - ditiocarbamato) com calda composta de 40 g do produto por 20 L de água, quando o fungo era observado em mais de 50% das plantas.

Figura 32 - *Alternaria* sp. e planta afetada pelo fungo.
Fonte: Arquivo pessoal.

No campo, houve o surgimento de formigas cortadeiras do gênero *Atta*, que causava a desfolha parcial e, em alguns casos, total da palma de óleo (Figura 33). Para seu controle, foi aplicado o inseticida Termifin Fipronil CE (princípio ativo – fipronil 2,5%) utilizando 30 mL do produto por 10 L de água para a calda, a cada 20 dias, até não ser observada mais a ocorrência dessa praga.

Figura 33 - Planta de palma de óleo atacada por formiga cortadeira (*Atta* spp.) na área experimental.
Fonte: Arquivo Pessoal

Algumas plantas foram atacadas por capivaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*), que eram atraídas pelo palmito em desenvolvimento na cultura (Figura 34). Houve diminuição no aparecimento dessas com a instalação de cerca elétrica em torno da área experimental.

Figura 34 - Palma de óleo atacada por capivara.
Fonte: Arquivo Pessoal

3.7. Variáveis monitoradas

Foram utilizados os dados provenientes da estação meteorológica da fazenda Areão para a estimativa da ETo por meio da equação de Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al., 1998).

$$ET_o = \frac{0,408s(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273} u_2 (e_s - e_a)}{s + \gamma(1 + 0,34 u_2)} \quad (11)$$

onde: ET_o – evapotranspiração de referência, mm d^{-1} ; s – declinação da curva de saturação de vapor de água, $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$; R_n – saldo de radiação, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$; G – fluxo de calor no solo, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$; γ – constante psicrométrica, $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$; u_2 – velocidade média do vento a 2 m de altura, m s^{-1} ; T_{med} – Temperatura média do ar, $^\circ\text{C}$; e_s – pressão de saturação de vapor, kPa ; e_a – pressão atual de vapor, kPa ;

Os valores de ET_c , determinados pela equação 10, foram utilizados para o cálculo de estimativa do coeficiente de cultivo (K_c), podendo este ser observado na equação 12.

$$k_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (12)$$

onde: k_c – coeficiente de cultivo (adimensional), ET_c – evapotranspiração do cultivo (mm d^{-1}) e ET_o - evapotranspiração de referência (mm d^{-1}). Valores diários de ET_o foram calculados no programa REF-ET (ALLEN, 2000) utilizando o método Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) com dados diários da estação meteorológica.

Vale ressaltar que todos os lisímetros já estão instalados na área experimental, oriundo do projeto FAPESP (Processo: 98/06445-2), bem como o da estação meteorológica. No entanto, foi necessário a compra de novas células de carga para os lisímetros, de acordo com a manutenção periódica recomendada.

3.8. Variáveis avaliadas

As variáveis avaliadas mensalmente foram: altura de plantas - mensurada com uma trena, da superfície do solo até a última folha emergida; número de folhas emergidas – na primeira avaliação foram contadas e marcadas com fita adesiva as bases peciolares do número total de folhas, a partir daí, começaram a ser contadas as folhas emitidas (sem marcação) que, novamente, foram marcadas e assim sucessivamente; diâmetro do coleto - foi medido com uma fita métrica em torno do coleto, passando sob as bases peciolares e registrado os valores

em centímetros; diâmetro da copa – foi medido com uma trena, sendo realizada na projeção da copa perpendicular as pontas das folhas mais distantes do coleto; área da copa – foram obtidas por meio de cálculo da área da elipse, a partir dos dados coletados do diâmetro da copa.

3.9. Índice de clorofila

Os índices de clorofila (A, B e A+B) da palma de óleo foram determinados pelo equipamento ClorofiLOG CFL 1030 Falker[®], expressos em índice de clorofila Falker (ICF). As leituras foram realizadas a cada dois meses, sendo realizadas em 12 folíolos da folha nº 9 de cada planta útil. Todas as medições foram feitas no período matutino ao longo de todo experimento.

3.10. Análise Estatística

Inicialmente, os dados de meteorologia, da ETc obtida por lisimetria, do desenvolvimento inicial e dos índices de clorofila foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk ($p>0,01$) e de Levene ($p>0,01$), para verificação da normalidade e homocedasticidade residuais, respectivamente.

As variáveis biométricas e os índices de clorofila que são medidas repetidas ao longo do tempo, foram analisadas por meio do modelo univariado de perfis. Inicialmente foram realizados para cada variável o teste de normalidade de forma a satisfazer a pressuposição do modelo.

As análises de regressão nas variáveis repetidas ao longo do tempo e da análise de nutrientes foliares, foram determinadas utilizando o PROC REG do SAS[®], sendo o o melhor modelo escolhido para cada tratamento, de acordo com a significância das estimativas dos parâmetros de cada equação. O cálculo do r^2 também foi utilizado para essas variáveis.

Para os dados meteorológicos coletados durante o experimento, foi realizada uma estatística descritiva com os valores médios, máximos, mínimos e o desvio padrão de cada componente climático. Os valores de ET, estimados pelo método ASCE Penman-Monteith (ALLEN, 2000), e medidos pelo lisímetro de pesagem foram submetidos à análise exploratória e teste de normalidade de Shapiro-Wilk.

Os dados das variáveis biométricas assim como do índice de clorofila foram submetidos ao teste de análise de variância (ANOVA), e logo após, realizou-se o teste de

comparação de médias (Tukey, $p < 0,05$) para períodos mensais (variáveis biométricas e índice de clorofila) e sazonais (variáveis biométricas), visando o melhor tratamento a ser utilizado para a palma de óleo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Monitoramento meteorológico

A Figura 35 mostra os dados diários obtidos ao longo do experimento, tais como: temperaturas (máxima, mínima e média - $T_{\text{máx}}$, $T_{\text{mín}}$ e $T_{\text{méd}}$, respectivamente), umidade relativa do ar (UR), precipitação (PPT), insolação (n), radiação solar global (R_s), saldo radiação (R_n), velocidade do vento a 2 m de altura (U_2) e evapotranspiração de referências (ETo).

Figura 35 - Dados diários de temperaturas máxima ($T_{\text{máx}}$), média ($T_{\text{méd}}$) e mínima ($T_{\text{mín}}$); umidade relativa (UR) e precipitação; insolação; radiação solar global (R_s) e saldo radiação (R_n); velocidade média do vento a 2 m de altura (U_2) e; evapotranspiração de referência (ETo), obtidos pela estação meteorológica da fazenda areão, ESALQ/USP, Piracicaba-SP.

A estatística descritiva dos dados diários das variáveis temperaturas (máxima, média e mínima), umidade relativa do ar, horas de sol, radiação solar global, saldo radiação e velocidade do vento, coletados durante o período de avaliação do estudo, além dos valores de ETc são apresentados na Tabela 12. Ao longo do cultivo da palma de óleo, a temperatura média variou entre 10,5 e 30,5°C, sendo que esta apresentou temperaturas abaixo da faixa considerada ideal por Corley e Tinker (2016), que devem ser entre 24 e 28°C. Essas temperaturas segundo os mesmos autores, podem interferir de forma negativa no desenvolvimento da cultura, caso apresente valores mínimos de temperatura média abaixo dos 17°C nos meses de inverno.

Tabela 12 - Estatística descritiva das variáveis meteorológicas observadas na área experimental de palma de óleo, em Piracicaba-SP.

	Media	Desvio padrão	Máximo	Mínimo
Tmáx (°C)	29,29	4,02	38,50	18,00
Tméd (°C)	21,60	3,65	28,00	10,10
Tmín (°C)	15,76	4,45	22,10	1,10
UR (%)	70,21	10,53	94,20	34,90
n (h)	7,21	3,34	12,00	0,00
Rs (MJ m ⁻² d ⁻¹)	18,94	5,62	29,80	6,40
Rn (MJ m ⁻² d ⁻¹)	11,09	3,76	18,90	4,10
U ₂ (m s ⁻¹)	1,44	0,50	4,50	0,60
Eto (mm d ⁻¹)	4,12	1,30	6,80	1,20

Tmáx, Tméd e Tmínima – temperaturas máxima, média e mínima do ar; UR – umidade relativa do ar; n – horas de Sol; Rs – radiação solar global; Rn – saldo de radiação; U₂ – velocidade média do vento a 2 m de altura; ETo – evapotranspiração de referência; ETc1, ETc2 e ETc3 – evapotranspiração da cultura obtida pelos lisímetros 1, 2 e 3, respectivamente.

Antes do início da irrigação, os três lisímetros de pesagem com plantas foram calibrados, sendo que, o lisímetro 3 o principal para a determinação da ETc da palma de óleo nessa fase de desenvolvimento da cultura. Nesse dia, as condições meteorológicas apresentavam: temperatura média do ar entre 22,2 e 30,6°C e umidade relativa do ar entre 52,1 e 87,8%. Mesmo com uma amplitude térmica no exterior dos lisímetros de 7,8°C, a variação ocorrida no interior do fosso foi de 1,2°C, não interferindo nas leituras do datalogger. A velocidade do vento chegou a 1,77 m s⁻¹ durante as leituras. As curvas e equações de calibração utilizados para obtenção da ETc da palma de óleo podem ser observadas na Figura 36 e Tabela 13, respectivamente.

Figura 36 - Curvas de calibração dos lisímetros 1 (A), 2 (B) e 3 (C) para determinar a evapotranspiração da cultura (ETc) da palma de óleo em Piracicaba-SP, Brasil.

Tabela 13 - Equações de calibração dos lisímetros.

Lisímetros	Equação de calibração		r^2	P
	kg	mm		
1	$13539,2647x - 24766,2532$	$1077,4205x - 1970,8358$	0,967	<0,0001
2	$7737,6792x - 8712,8007$	$1351,1292x - 1521,7397$	0,999	<0,0001
3	$4809,6062x - 3034,2438$	$2392,1019x - 1509,1091$	0,976	<0,0001

Tendo visto que as equações apresentaram altos coeficientes de determinação (r^2), comprovou-se que o modelo de regressão linear descreveu adequadamente a relação entre a massa acumulada e a média do sinal de saída das três células de carga (Figuras 36A e B) e da célula de carga única (Figura 36C), ilustrando o comportamento linear crescente entre as variáveis mensuradas.

Após a calibração, os dados foram coletados semanalmente para a determinação da ETc diária da palma de óleo em sua fase inicial irrigada por gotejamento. Na Tabela 14 pode-se observar as médias mensais de ETo, ETc e Kc desta cultura, para os 3 lisímetros avaliados. Os valores de ETc utilizados para o manejo da irrigação durante este período foram baseados nos dados coletados no lisímetro 3, pois pela cultura estar em um estágio inicial de desenvolvimento a campo, e por este lisímetro ter uma área menor, os resultados possuíam maior precisão quando comparados aos outros dois lisímetros, principalmente pelo fato de não sofrer tanta influência da evaporação do solo, que pode interferir nessa determinação.

Tabela 14 - Médias mensais da evapotranspiração de referência (ETo) e das Evapotranspiração da cultura (ETc) e coeficiente de cultura (Kc) nos três lisímetros durante o período de cultivo da cultura de óleo.

MAT	Mês/Ano	ETo mm d ⁻¹	L1		L2		L3*	
			ETc mm d ⁻¹	Kc	ETc mm d ⁻¹	Kc	ETc mm d ⁻¹	Kc
6	04/2016	4,33	2,47	0,59	2,68	0,67	4,25	-
7	05/2016	2,72	2,67	1,15	3,34	1,37	2,95	-
8	06/2016	2,32	1,84	0,94	2,18	1,00	2,16	0,97
9	07/2016	3,11	1,73	0,54	1,01	0,33	2,66	0,86
10	08/2016	3,75	1,49	0,41	2,02	0,56	2,98	0,78
11	09/2016	4,54	1,90	0,45	1,93	0,45	4,14	0,93
12	10/2016	5,06	3,19	0,62	3,66	0,72	4,84	0,93
13	11/2016	4,84	4,35	0,88	3,59	0,71	4,34	0,96
14	12/2016	5,16	3,56	0,70	4,51	0,85	3,31	0,71
15	01/2017	4,33	3,22	0,74	4,15	0,92	3,75	0,78
16	02/2017	5,02	2,33	0,45	4,36	0,82	5,00	1,02
17	03/2017	4,61	3,24	0,72	3,75	0,92	3,72	0,78

* Valores de Kc utilizados para esta fase da cultura

A ETc mensurado pelo lisímetro referência (L3) obteve valores que variaram entre 2,16 e 5,00 mm d⁻¹. Os valores baixos de ETc do 7º ao 10º MAT se remete ao fato de uma interferência do clima no desenvolvimento da cultura, pois com temperaturas baixas e umidade relativa abaixo dos 50%, ocorre uma estagnação no crescimento e fechamento dos poros da cultura, influenciando assim na transpiração das plantas (CORLEY; TINKER, 2016; TAIZ; ZEIGER, 2006).

Martínez et al. (2013) estudando a resposta fisiológica da palma de óleo na Colômbia, encontraram valores de ETc de 4,0 mm d⁻¹, o que também é observado neste trabalho nos

meses mais chuvosos. Esses valores são considerados normais para essa fase da cultura segundo diversos autores (FOONG, 1993; KALLARACKAL; JEYAKUMAR; GEORGE, 2004; YUSOP et al., 2008), podendo constatar que a região de Piracicaba tem características climatológicas cabíveis para o cultivo da palma de óleo. Arshad (2014) afirmou que a ET_c é um parâmetro muito importante para a estimativa do consumo hídrico das culturas.

Os valores de K_c variaram ao longo dos meses entre 0,71 e 1,06. Dados semelhantes foram encontrados por Mejjide et al. (2017) e Henson (1995) na Indonésia, Calvache (2002) na Colômbia e Ling (1979) com lisimetria na Malásia, encontraram valores de K_c entre 0,75-1,25, corroborando com os encontrados neste trabalho. Esses valores comparados a outras culturas oleaginosas, tais como o girassol (1,16) e a colza (1,00), e também a outras culturas tropicais perenes como a banana, café, cacau e algumas espécies de palmeiras (0,95-1,20) (ALLEN et al., 1998) se mostraram na mesma grandeza.

Os volumes totais de irrigação, fertirrigação e precipitação estão ilustrados na Figura 37 e Tabela 15. Piracicaba apresentou comportamento atípico durante esse ano de avaliação, quanto a distribuição das chuvas. Nos 6º e 9º MAT (abril e julho de 2016, respectivamente) o volume de precipitação foi cerca de 90% abaixo do apresentado pela média histórica (Figura 4) em ambos os casos. Já no 7º e 8º MAT (maio e junho de 2016, respectivamente), o volume foi superior em cerca de 125 e 285% quando relacionados aos dados históricos. Como as precipitações no 7º e 8º MAT não apresentaram distribuição uniforme, algumas lâminas de irrigação foram aplicadas. No 6º e 12º MAT foram realizadas as aplicações da fertirrigação com adubação química no T1. As aplicações de fertirrigação com vinhaça foram realizadas no 8º, 9º, 10º e 11º MAT, pois os volumes de vinhaça a serem aplicados, obtidos pela Equação 1, eram maiores que os da adubação química. As parcelas contidas no T1 eram irrigadas durante o período de aplicação de vinhaça nos demais tratamentos. Sempre a mesma lâmina aplicada em todas as parcelas, de acordo com a necessidade hídrica da cultura.

Figura 37 - Lâmina de irrigação e precipitação mensal no cultivo da palma de óleo em Piracicaba-SP.

Tabela 15 - Resumo do consumo hídrico da palma de óleo irrigada por gotejamento, em Piracicaba-SP.

Parâmetros	Valor	Unidade
Consumo hídrico (irrigação) – T1	456,32	mm ano ⁻¹
Consumo hídrico (irrigação) – T2	351,81	mm ano ⁻¹
Consumo hídrico (irrigação) – T3	264,14	mm ano ⁻¹
Consumo hídrico (irrigação) – T4	146,27	mm ano ⁻¹
Consumo hídrico (fertirrigação com vinhaça) – T2	104,51	mm ano ⁻¹
Consumo hídrico (fertirrigação com vinhaça) – T3	192,18	mm ano ⁻¹
Consumo hídrico (fertirrigação com vinhaça) – T4	310,05	mm ano ⁻¹
Consumo hídrico total (irrigação+fertirrigação)	456,32	mm ano ⁻¹
Consumo hídrico (precipitação)	1413,90	mm ano ⁻¹
Consumo hídrico total	1870,22	mm ano ⁻¹
Contribuição da lâmina total (irrigação + fertirrigação) ao consumo total	24,40	%
Contribuição da precipitação ao consumo total	75,60	%
Horas de irrigação por hectare ano	137,5	h ha ⁻¹ ano ⁻¹
Número de irrigações	75	Adimensional
Consumo médio diário de irrigação/fertirrigação	6,08	mm planta ⁻¹

O consumo hídrico total da palma de óleo em Piracicaba foi superior ao encontrado por Antonini et al. (2013), que trabalharam com esta cultura em Brasília. Esse volume, no entanto, é inferior ao descrito por Corley e Tinker (2016) em que os autores declaram que o volume ideal para a cultura da palma de óleo seria de 2000 mm ano⁻¹.

4.2. Análise de crescimento da palma de óleo

Nas Tabelas 16 e 17, encontram-se os resumos das análises de variância conjunta do experimento. Verificou-se a ocorrência de diferença estatística para as fontes de variação: tratamento (T) no diâmetro do colo (Dc), diâmetro da copa (Dcopa), área da copa (Acopa) e número de folhas emitidas (NFE); e a fonte de variação mês após o transplântio (MAT) e na interação T x bloco (B), para todas as características avaliadas; B, para as características Dc e NFE e; interação MAT x B, apenas para altura. Em relação aos incrementos, Alt não apresentou diferença estatística entre os tratamentos, enquanto todas as outras variáveis apresentaram diferença.

Tabela 16 - Resumo da análise de variância conjunta para as características altura (Alt - m), diâmetro do colo (Dc - cm), diâmetro da copa (Dcopa - m), área da copa (Acopa - m²) e número de folhas emitidas (NFE) na avaliação da palma de óleo fertirrigada com vinhaça, em Piracicaba-SP.

F.V	G.L.	Quadrado médio				
		Alt	Dc	Dcopa	Acopa	NFE
Modelo	77	0,16***	99,14***	0,33***	3,76***	225,63***
Blocos (B)	2	0,08 ^{ns}	31,55**	0,04 ^{ns}	0,30 ^{ns}	419,72***
Tratamentos (T)	3	0,03 ^{ns}	132,76***	0,44***	4,92***	538,68***
Mês após transplântio (MAT)	11	0,81***	531,56***	1,50***	17,44***	893,34***
T x B	6	0,29***	186,98***	0,95***	10,11***	831,46***
MAT x B	22	0,05**	1,09 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,81 ^{ns}
T x MAT	33	0,02 ^{ns}	5,43 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,47 ^{ns}	2,55 ^{ns}
Resíduo	210	0,03	7,15	0,06	0,64	6,43
Total	287	-	-	-	-	-
Média	-	1,50	19,31	2,13	3,63	27,38
CV (%)	-	11,46	13,84	11,29	21,97	9,26
r ²	-	0,67	0,84	0,68	0,68	0,93

F.V. – fatores de variação; CV – coeficiente de variação; G.L. – graus de liberdade; ^{ns} – não significativo; * - significativo a $p < 0,05$; ** - significativo a $p < 0,01$; *** - significativo a $p < 0,0001$.

Tabela 17 - Resumo da análise de variância conjunta para os incrementos das características altura (Alt - m), diâmetro do colo (Dc - cm), diâmetro da copa (Dcopa - m), área da copa (Acopa - m²) e número de folhas emitidas (NFE) na avaliação da palma de óleo fertirrigada com vinhaça, em Piracicaba-SP.

F.V	G.L.	Quadrado médio (incremento)				
		Alt	Dc	Dcopa	Acopa	NFE
Modelo	23	0,22***	20,17***	0,70***	6,76***	442,07***
Blocos (B)	2	0,11*	24,47 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,64 ^{ns}	390,13***
Tratamentos (T)	3	0,02 ^{ns}	117,57***	0,51**	5,39**	499,15***
Período sazonal (PS)	3	1,21***	1842,28***	4,58***	43,75***	2602,00***
PS x B	6	0,13**	1,01 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,39 ^{ns}	3,66 ^{ns}
T x PS	9	0,03 ^{ns}	5,49 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,48 ^{ns}	6,87 ^{ns}
Resíduo	264	0,03	11,29	0,08	0,85	25,45
Total	287	-	-	-	-	-
Média	-	1,46	18,10	2,04	3,34	25,74
CV (%)	-	12,26	18,56	14,07	27,62	19,60
r ²	-	0,37	0,67	0,43	0,41	0,60

F.V. – fatores de variação; CV – coeficiente de variação; G.L. – graus de liberdade; ^{ns} – não significativo; * - significativo a $p < 0,05$; ** - significativo a $p < 0,01$; *** - significativo a $p < 0,0001$.

Com base nas análises de variância, foi realizado o teste de comparação de médias para cada característica biométrica. Na Tabela 19 estão descritos os valores médios de altura das plantas para cada tratamento ao longo do cultivo da palma de óleo irrigada. Ao final das avaliações, as plantas apresentavam uma média de 1,92 m de altura. Nota-se que, entre o 6º e o 10º mês após o transplântio (MAT), houve um decréscimo na altura. Comportamento parecido foi encontrado por Oliveira et al. (2002), onde os autores, trabalharam com a cultura do açaí, explicam que em espaçamentos amplos não ocorrem competição por luz entre as plantas, reduzindo o crescimento em altura e favorecendo o crescimento em diâmetro, reduzindo também os riscos de tombamento das mesmas em consequência de rajadas de ventos mais fortes.

Ao se estabilizar no 11º MAT, as plantas cresciam tanto em altura quanto em diâmetro, não ocorrendo decréscimo significativo (Figuras 38 e 39). O crescimento em altura desta cultura apresentou um melhor ajuste com um modelo polinomial de 2º grau em função dos MAT (Tabela 18), para todos os tratamentos. As equações de regressão e os coeficientes de determinação (r²) do crescimento da cultura por tratamento aplicado estão ilustradas na Tabela 18.

Figura 38 - Comportamento e linha de tendência da variável altura da cultura da palma de óleo ao longo do período avaliado.

Tabela 18 - Equações de regressão para a altura (Alt) de plantas em função dos meses após o transplântio (MAT).

Tratamentos	Equação: $Alt = f(MAT)$	r^2
T1	$0,0075x^2 - 0,1459x + 2,0988$	0,9132
T2	$0,0100x^2 - 0,1926x + 2,2563$	0,9383
T3	$0,0117x^2 - 0,2221x + 2,3922$	0,9744
T4	$0,0124x^2 - 0,2381x + 2,4706$	0,9376

A Tabela 19 apresenta o teste de comparação de médias referentes à altura de plantas, podendo observar que não houve diferença significativa entre os tratamentos de doses de potássio (K) fornecidos via fertirrigação com adubação química (T1) e com vinhaça (T2, T3 e T4).

Tabela 19 - Teste de comparação de médias referente a variável altura (m) em plantas de palma de óleo irrigada em Piracicaba-SP, Brasil.

Trat	MAT					
	6 ^{ns}	7 ^{ns}	8 ^{ns}	9 ^{ns}	10 ^{ns}	11 ^{ns}
T1	1,43	1,53	1,38	1,38	1,41	1,41
T2	1,40	1,51	1,34	1,31	1,27	1,36
T3	1,43	1,45	1,40	1,35	1,33	1,32
T4	1,41	1,44	1,42	1,39	1,33	1,34
DMS	0,29	0,33	0,21	0,18	0,20	0,28

Trat	MAT					
	12 ^{ns}	13 ^{ns}	14 ^{ns}	15 ^{ns}	16 ^{ns}	17 ^{ns}
T1	1,43	1,44	1,51	1,54	1,69	1,79
T2	1,39	1,46	1,51	1,60	1,73	1,87
T3	1,42	1,44	1,54	1,71	1,87	1,96
T4	1,35	1,40	1,65	1,62	1,83	2,05
DMS	0,26	0,30	0,35	0,31	0,31	0,35

MAT – Mês após o transplante; Trat.: tratamentos; DMS – diferença mínima significativa; CV – coeficiente de variação; Nível de significância: ^{ns} – não significativo.

A maior altura média registrada foi 2,05 m no T4, sendo esta inferior a encontrada por Maciel et al. (2011), no mesmo período, onde os autores encontraram alturas médias de 2,50 e 2,92 m em palmas cultivadas em áreas de savana e floresta, respectivamente, no estado de Roraima. Silva et al. (2017) trabalharam com os híbridos BRS Manicoré e BRS C 2501 irrigados por gotejamento em Belém-PA, obtiveram, aos 12 meses de cultivo a campo, alturas médias de 1,64 e 1,79 m, respectivamente, sendo superiores as alturas médias encontradas no mesmo período neste experimento.

A Tabela 20 apresenta os incrementos médios mensais da cultura. Pode-se notar os decréscimos da altura média das plantas até o 10º MAT, sendo que, no 8º MAT, a cultura a apresentou o maior decréscimo (16 cm no T2). Ao se estabilizar no 11º MAT, as plantas mantiveram um acréscimo de altura até o fim do período avaliativo.

Tabela 20 - Teste de comparação de médias referente ao incremento de altura (m) na palma de óleo irrigada, em Piracicaba-SP.

Trat	MAT	6 ^{ns}	7 ^{ns}	8 ^{ns}	9 ^{ns}	10 ^{ns}	11 ^{ns}
T1		0,08	0,10	-0,15	0,00	0,03	-0,01
T2		-0,02	0,11	-0,16	-0,03	-0,04	0,09
T3		-0,06	0,02	-0,04	-0,05	-0,03	-0,01
T4		-0,03	0,03	-0,02	-0,03	-0,06	0,01
DMS		0,34	0,39	0,25	0,10	0,15	0,26

Trat	MAT	12 ^{ns}	13 ^{ns}	14 ^{ns}	15 ^{ns}	16 ^{ns}	17 ^{ns}
T1		0,02	0,01	0,07	0,03	0,14	0,11
T2		0,03	0,07	0,05	0,09	0,13	0,14
T3		0,09	0,03	0,10	0,17	0,16	0,09
T4		0,01	0,05	0,25	-0,03	0,21	0,21
DMS		0,23	0,19	0,26	0,31	0,20	0,19

MAT – Mês após o transplante; Trat.: tratamentos; DMS – diferença mínima significativa; Nível de significância: ^{ns} – não significativo; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,0001$. Médias seguidas por letras maiúsculas distintas, diferem-se entre os tratamentos e, seguidas por letras minúsculas, entre os períodos sazonais.

A mensuração da altura, sugerida por alguns autores (MURUGESAN; SHAREEF, 2014; CORLEY; HARDON; TAN, 1971) para esta cultura, deve ser feita da base ao final da estipe, onde se encontra a primeira inserção foliar. Porém, como a cultura estava em sua fase juvenil, com crescimento apenas horizontal da estipe (MACIEL et al., 2011), a medição foi realizada da base do colo até a ponta da última folha emitida totalmente aberta (SILVA et al., 2017), não sendo contabilizada as folhas semi-abertas ou na forma de “lança”. As folhas novas tendem a se abrir quando estão na posição vertical, contudo, com a emissão de novas folhas, essas declinam, ocorrendo assim a diminuição da altura de um mês para o outro.

Observando o crescimento da cultura em um período de tempo maior, nota-se que não houve diferenciação estatística entre os tratamentos. Quando comparados os períodos sazonais dentro de cada tratamento, todos apresentaram diferenças altamente significativas, onde o Verão apresenta as maiores alturas e o inverno, os menores.

Tabela 21 - Análise estatística da altura média das plantas de palma de óleo entre os tratamentos, por período sazonal.

Tratamentos	Outono ^{ns}	Inverno ^{ns}	Primavera ^{ns}	Verão ^{ns}	DMS	Média ^{ns}
T1 ^{**}	1,44 ^{ab}	1,39 ^b	1,43 ^b	1,58 ^a	0,14	1,46
T2 ^{***}	1,44 ^b	1,31 ^c	1,40 ^{bc}	1,61 ^a	0,12	1,44
T3 ^{***}	1,45 ^b	1,36 ^b	1,40 ^b	1,71 ^a	0,16	1,48
T4 ^{***}	1,43 ^b	1,38 ^b	1,36 ^b	1,70 ^a	0,12	1,47
DMS	0,15	0,12	0,16	0,19	-	0,08
Média	1,44 ^b	1,36 ^c	1,40 ^{bc}	1,65 ^a	0,08	-

Outono - março a maio de 2016; Inverno - junho a agosto de 2016; Primavera - setembro a novembro de 2016; Verão - dezembro de 2016 a fevereiro de 2017; Níveis de significância - ^{ns}: não significativo; ^{**}: $p < 0,01$; ^{***}: $p < 0,0001$. Médias seguidas por letras maiúsculas distintas, diferem-se entre os tratamentos e, seguidas por letras minúsculas, entre os períodos sazonais.

Com os resultados obtidos dos incrementos da variável altura dentro dos períodos sazonais, observa-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos em nenhuma das estações do ano. Contudo, ocorreram diferenças significativas dentro de um mesmo tratamento ao longo do desenvolvimento da cultura. O Verão, obteve maiores incrementos da variável altura, enquanto no inverno houve um decréscimo da mesma, pelo comportamento do crescimento desta cultura descrito anteriormente.

Tabela 22 - Análise estatística do incremento observado na altura média das plantas de palma de óleo entre os tratamentos, por período sazonal.

Tratamentos	Outono ^{ns}	Inverno ^{ns}	Primavera ^{ns}	Verão ^{ns}	DMS	Média ^{ns}
T1 [*]	0,04 ^{ab}	-0,04 ^b	0,01 ^{ab}	0,08 ^a	0,12	0,02
T2 [*]	0,02 ^{ab}	-0,08 ^b	0,06 ^a	0,09 ^a	0,13	0,02
T3 [*]	-0,03 ^b	-0,04 ^b	0,04 ^{ab}	0,14 ^a	0,16	0,03
T4 [*]	0,01 ^b	-0,04 ^b	0,02 ^b	0,14 ^a	0,11	0,03
DMS	0,15	0,10	0,13	0,14	-	0,06
Média [*]	0,01 ^{bc}	-0,05 ^c	0,03 ^b	0,11 ^a	0,06	-

Outono - março a maio de 2016; Inverno - junho a agosto de 2016; Primavera - setembro a novembro de 2016; Verão - dezembro de 2016 a fevereiro de 2017; Níveis de significância - ^{ns}: não significativo; ^{*}: $p < 0,05$. Médias seguidas por letras maiúsculas distintas, diferem-se entre os tratamentos e, seguidas por letras minúsculas, entre os períodos sazonais.

Essas médias em incremento de altura foram inferiores as encontradas por Maciel et al. (2011), que no mesmo período apresentou um média de 0,248 m de incremento médio mensal. Em plantio com palma de óleo na Malásia, Korom et al. (2016) apresentaram médias de altura superiores as encontradas nesse experimento, cerca de 2,7 m. A planta pode não ter

crescido em altura, por influência das baixas temperaturas que ocorreram no município de Piracicaba no inverno, fator esse que pode interromper o desenvolvimento da cultura (CORLEY; TINKER, 2016; TAIZ; ZEIGER, 2006).

Na Figura 39, pode ser observado o crescimento, ao longo dos MAT, do diâmetro do colo (DC). Essa variável apresentou um ótimo ajuste com o modelo linear para todos os tratamentos avaliados. Suas equações de regressão e r^2 podem ser observadas na Tabela 23.

Figura 39 - Comportamento da variável diâmetro do coleto na cultura da palma de óleo irrigada em Piracicaba-SP.

Tabela 23 - Equações de regressão para o diâmetro do coleto (Dc) das plantas em função dos meses após o transplântio (MAT).

Tratamentos	Equação: $Dc = f(MAT)$	r^2
T1	$1,3278x + 2,0157$	0,9711
T2	$1,2594x + 5,4292$	0,9188
T3	$1,3223x + 4,9488$	0,9808
T4	$1,2753x + 5,2419$	0,9571

Do 6º ao 7º e do 10º ao 17º MAT, o DC não apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 24). Contudo, o 8º e o 9º MAT apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos, sendo o T1 o que obteve menores médias nos dois MAT. Assim, pode-se afirmar que a fertirrigação com vinhaça obteve um melhor desenvolvimento para esta característica biométrica, mesmo sendo no período do inverno.

Tabela 24 - Teste de comparação de médias referente ao diâmetro do coleto (cm) médio na palma de óleo irrigada, em Piracicaba-SP.

Trat	MAT					
	6 ^{ns}	7 ^{ns}	8 ^{**}	9 ^{***}	10 ^{ns}	11 ^{ns}
T1	10,98	11,88	12,68 ^B	13,21 ^B	14,48	15,44
T2	12,47	13,37	15,33 ^A	15,97 ^{AB}	20,48	17,93
T3	12,57	14,69	16,02 ^A	16,66 ^A	17,51	18,99
T4	13,47	14,85	16,60 ^A	15,97 ^{AB}	15,76	18,89
DMS	3,09	3,53	2,36	3,38	8,04	4,34

Trat	MAT					
	12 ^{ns}	13 ^{ns}	14 ^{ns}	15 ^{ns}	16 ^{ns}	17 ^{ns}
T1	17,35	19,58	20,58	23,55	23,66	24,03
T2	21,01	23,50	23,93	25,52	24,72	24,72
T3	21,75	21,70	22,65	25,94	26,52	26,84
T4	20,32	21,96	23,18	25,09	24,77	28,01
DMS	4,74	4,82	5,75	5,41	5,48	6,18

MAT – Mês após o transplante; Trat.: tratamentos; DMS – diferença mínima significativa; CV – coeficiente de variação; ^{ns} – não significativo; * - significativo a $p<0,05$; ** - significativo a $p<0,01$.

Não houve diferença significativa nos incrementos de Dc entre os tratamentos no período avaliado (Tabela 25). Porém, T1, T2 e T3 apresentaram diferenças entre os meses, sendo o 15º MAT o que apresentou maior média de incremento para o T1 e T3 (2,97 e 3,29 cm, respectivamente) e o 10º MAT para o T2 (4,51 cm).

Tabela 25 - Teste de comparação de médias referente ao incremento do diâmetro do coleto (cm) na palma de óleo irrigada, em Piracicaba-SP.

Trat	MAT					
	6 ^{ns}	7 ^{ns}	8 ^{ns}	9 ^{ns}	10 ^{ns}	11 ^{ns}
T1	0,08	0,90	0,79	0,53	1,27	0,95
T2	0,80	0,90	1,96	0,64	4,51	-2,55
T3	1,70	2,12	1,32	0,63	0,85	1,48
T4	1,70	1,38	1,75	-0,63	-0,21	3,13
DMS	2,37	2,52	2,64	2,08	7,29	7,36

Trat	MAT					
	12 ^{ns}	13 ^{**}	14 ^{ns}	15 ^{ns}	16 ^{ns}	17 ^{ns}
T1	1,91	2,23 ^A	1,01	2,97	0,10	0,37
T2	3,08	2,49 ^A	0,42	1,59	-0,79	0,00
T3	2,76	-0,05 ^B	0,96	3,29	0,58	0,32
T4	1,43	1,64 ^{AB}	1,22	1,91	-0,32	3,23
DMS	2,77	2,10	3,42	3,07	1,83	3,63

MAT – Mês após o transplante; Trat.: tratamentos; DMS – diferença mínima significativa; CV – coeficiente de variação; ^{ns} – não significativo; * - significativo a $p < 0,05$; ** - significativo a $p < 0,01$. Médias seguidas por letras maiúsculas distintas, diferem-se entre os tratamentos e, seguidas por letras minúsculas, entre os períodos sazonais.

Ocorreram diferenças entre os tratamentos para as estações Outono, Inverno e Primavera, sendo que em todos os tratamentos fertirrigados com vinhaça apresentaram melhores médias quando comparados ao tratamento fertirrigados sem vinhaça (Tabela 26).

Tabela 26 - Análise estatística do diâmetro médio do coleto das plantas de palma de óleo entre os tratamentos, por período sazonal.

Tratamentos	Outono ^{**}	Inverno ^{***}	Primavera ^{***}	Verão ^{ns}	DMS	Média ^{***}
T1 ^{***}	11,26 ^{Bd}	13,46 ^{Bc}	17,45 ^{Bb}	22,60 ^a	1,89	16,19 ^B
T2 ^{***}	12,50 ^{ABd}	17,26 ^{Ac}	20,81 ^{Ab}	24,72 ^a	2,64	18,82 ^A
T3 ^{***}	12,71 ^{ABd}	16,73 ^{Ac}	20,81 ^{Ab}	25,04 ^a	2,07	18,82 ^A
T4 ^{***}	13,37 ^{Ac}	16,11 ^{ABc}	20,39 ^{ABb}	24,35 ^a	2,81	18,55 ^A
DMS	2,05	3,12	3,31	3,15	-	1,45
Média ^{***}	12,46 ^d	15,89 ^c	19,87 ^b	24,18 ^a	1,45	-

Outono - março a maio de 2016; Inverno - junho a agosto de 2016; Primavera - setembro a novembro de 2016; Verão - dezembro de 2016 a fevereiro de 2017; Níveis de significância - ^{ns}: não significativo; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,0001$. Médias seguidas por letras maiúsculas distintas, diferem-se entre os tratamentos e, seguidas por letras minúsculas, entre os períodos sazonais.

Não houve diferença estatística entre os tratamentos com vinhaça em nenhuma das estações (Tabela 27), porém T1, T2 e T4 apresentaram valores semelhantes aos encontrados por Martínez et al. (2013) e Niu et al. (2015), no Equador e na Indonésia, respectivamente, na cultura da palma de óleo irrigada.

Tabela 27 - Análise estatística do incremento observado no diâmetro médio do coleto das plantas de palma de óleo entre os tratamentos, por período sazonal.

Tratamentos	Outono	Inverno	Primavera	Verão	DMS	Média ^{ns}
T1	0,80	0,87	1,70	1,36	1,23	1,18
T2	1,45	2,37	1,01	0,41	3,02	1,31
T3	1,56	0,94	1,40	1,61	1,49	1,37
T4	1,54	0,30	2,07	0,94	2,04	1,21
DMS	1,31	2,33	2,56	1,71	-	1,00
Média ^{ns}	1,34	1,12	1,54	1,08	1,00	-

Outono - março a maio de 2016; Inverno - junho a agosto de 2016; Primavera - setembro a novembro de 2016; Verão - dezembro de 2016 a fevereiro de 2017; Níveis de significância - ^{ns}: não significativo; *: $p < 0,05$; Médias seguidas por letras minúsculas diferem entre os períodos sazonais.

A curva de crescimento do diâmetro da copa (Dcopa) e da área da copa (Acopa) podem ser observadas na Figura 40. Todos os tratamentos, nessas variáveis apresentaram um melhor ajuste no modelo linear (Tabela 28).

Figura 40 - Comportamento do diâmetro e da área da copa da cultura da palma de óleo ao longo do período avaliado.

Tabela 28 - Equações de regressão para o diâmetro (Dcopa) e da área da copa (Acopa) das plantas em função dos meses após o transplante (MAT).

Tratamentos	Equações		r^2	
	Dcopa = f (MAT)	Acopa = f (MAT)	Dcopa	Acopa
T1	$0,0736x + 1,1985$	$0,2402x + 0,6026$	0,8921	0,8575
T2	$0,0669x + 1,3159$	$0,2186x + 0,9672$	0,8677	0,8674
T3	$0,0500x + 1,6476$	$0,1725x + 1,9609$	0,6703	0,6716
T4	$0,0624x + 1,4351$	$0,2223x + 1,1894$	0,6675	0,6588

Tanto Dcopa quanto Acopa não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos ao longo do período do experimento (Tabela 29). Seu comportamento de crescimento apresentou uma provável falha de mensuração no 14º e 15º MAT, pois, após estes erros, a curva se mantém em crescimento contínuo.

Tabela 29 - Análise estatística das variáveis diâmetro da copa (m) e área da copa (m²) na palma de óleo irrigada em Piracicaba-SP.

Dcopa						
MAT Trat	6 ^{ns}	7 ^{ns}	8 ^{ns}	9 ^{ns}	10 ^{ns}	11 ^{ns}
T1	1,63	1,71	1,87	1,89	1,98	1,94
T2	1,66	1,70	1,88	1,98	2,04	2,05
T3	1,87	1,94	2,06	2,12	2,23	2,29
T4	1,77	1,83	2,02	2,11	2,11	2,15
DMS	0,44	0,49	0,39	0,39	0,49	0,49
MAT Trat	12 ^{ns}	13 ^{ns}	14 ^{ns}	15 ^{ns}	16 ^{ns}	17 ^{ns}
T1	2,05	2,18	2,08	2,17	2,39	2,64
T2	2,16	2,36	2,09	2,19	2,46	2,43
T3	2,38	2,41	2,07	2,21	2,53	2,56
T4	2,15	2,24	2,15	2,00	2,55	2,76
DMS	0,47	0,47	0,34	0,55	0,41	0,40
Acopa						
MAT Trat	6 ^{ns}	7 ^{ns}	8 ^{ns}	9 ^{ns}	10 ^{ns}	11 ^{ns}
T1	2,10	2,33	2,77	2,84	3,12	3,00
T2	2,16	2,31	2,80	3,08	3,28	3,34
T3	2,84	3,00	3,35	3,54	3,92	4,12
T4	2,49	2,69	3,23	3,51	3,55	3,69
DMS	1,28	1,40	1,18	1,22	1,56	1,56
MAT Trat	12 ^{ns}	13 ^{ns}	14 ^{ns}	15 ^{ns}	16 ^{ns}	17 ^{ns}
T1	3,35	3,72	3,42	3,71	4,51	5,50
T2	3,69	4,38	3,44	3,83	4,77	4,68
T3	4,46	4,60	3,40	3,89	5,04	5,16
T4	3,68	3,99	3,66	3,24	5,17	6,05
DMS	1,55	1,66	1,06	1,78	1,66	1,65

MAT – Mês após o transplante; Trat.: tratamentos; DMS – diferença mínima significativa; Níveis de significância - ^{ns}: não significativo.

Para o incremento de Dcopa, apenas no 17º MAT ocorreu diferença significativa entre os tratamentos utilizados, sendo T1 o que apresentou maior média dessa característica nesse mês. A Acopa não apresentou diferença entre os tratamentos (Tabela 30).

Em ambas variáveis, houve diferenças no incremento entre os MAT, ocorrendo maiores médias de incremento dessas variáveis no 17º MAT para o T1 e no 16º MAT para os demais tratamentos.

Tabela 30 - Teste de comparação de médias referente ao incremento do diâmetro (m) e da área da copa (m²) na palma de óleo irrigada, em Piracicaba-SP.

Dcopa						
MAT \ Trat	6 ^{ns}	7 ^{ns}	8 ^{ns}	9 ^{ns}	10 ^{ns}	11 ^{ns}
T1	0,22	0,08	0,16	0,02	0,09	-0,03
T2	0,17	0,04	0,18	0,10	0,06	0,02
T3	0,29	0,07	0,12	0,05	0,11	0,06
T4	0,14	0,05	0,19	0,09	0,01	0,04
DMS	0,34	0,34	0,32	0,29	0,32	0,62
MAT \ Trat	12 ^{ns}	13 ^{ns}	14 ^{ns}	15 ^{ns}	16 ^{ns}	17 [*]
T1	0,12	0,12	-0,09	0,08	0,23	0,26 ^A
T2	0,11	0,20	-0,27	0,10	0,27	-0,03 ^B
T3	0,09	0,03	-0,34	0,15	0,32	0,03 ^{AB}
T4	0,01	0,09	-0,09	-0,15	0,55	0,21 ^{AB}
DMS	0,54	0,29	0,37	0,39	0,46	0,28
Acopa						
MAT \ Trat	6 ^{ns}	7 ^{ns}	8 ^{ns}	9 ^{ns}	10 ^{ns}	11 ^{ns}
T1	0,54	0,23	0,45	0,06	0,28	-0,11
T2	0,40	0,14	0,49	0,29	0,19	0,06
T3	0,85	0,15	0,35	0,19	0,37	0,20
T4	0,37	0,20	0,55	0,27	0,04	0,14
DMS	0,95	0,92	0,93	0,91	1,03	1,98
MAT \ Trat	12 ^{ns}	13 ^{ns}	14 ^{ns}	15 ^{ns}	16 ^{ns}	17 ^{ns}
T1	0,35	0,37	-0,30	0,30	0,80	0,98
T2	0,36	0,69	-0,94	0,38	0,94	-0,09
T3	0,34	0,14	-1,21	0,50	1,14	0,13
T4	-0,01	0,31	-0,33	-0,42	1,93	0,88
DMS	1,74	1,09	1,35	1,29	1,61	1,12

MAT – Mês após o transplante; Trat.: tratamentos; DMS – diferença mínima significativa; Níveis de significância - ^{ns}: não significativo; *: $p < 0,05$; **. Médias seguidas por letras maiúsculas distintas, diferem-se entre os tratamentos.

Avaliando as médias dos tratamentos por estações do ano, estas apresentaram diferenças significativas no Inverno e Primavera para as duas variáveis analisadas. Ocorreu diferença estatística para Acopa no Outono. O T3 foi o que apresentou maiores médias dos

quesitos avaliados, enquanto T1 as menores. Com relação ao incremento nesses mesmos períodos, não houve diferença estatística entre os tratamentos e nem entre as estações do ano (Tabela 31).

Tabela 31 - Análise estatística do diâmetro médio e da área da copa da palma de óleo entre os tratamentos, por período sazonal.

Tratamentos	Dcopa				DMS	Média*
	Outono ^{ns}	Inverno ^{**}	Primavera ^{**}	Verão ^{ns}		
T1 ^{***}	1,58 ^c	1,91 ^{Bb}	2,06 ^{Bab}	2,21 ^a	0,20	1,94 ^B
T2 ^{***}	1,62 ^c	1,97 ^{ABb}	2,19 ^{ABa}	2,25 ^a	0,16	2,01 ^B
T3 ^{***}	1,80 ^c	2,14 ^{Ab}	2,36 ^{Aa}	2,27 ^{ab}	0,22	2,14 ^A
T4 ^{***}	1,74 ^b	2,08 ^{ABa}	2,18 ^{ABa}	2,23 ^a	0,28	2,06 ^{AB}
DMS	0,25	0,23	0,25	0,28	-	0,12
Média ^{**}	1,68 ^c	2,02 ^b	2,20 ^a	2,24 ^a	0,12	-

Tratamentos	Acopa				DMS	Média*
	Outono ^{ns}	Inverno ^{**}	Primavera ^{**}	Verão ^{ns}		
T1 ^{***}	1,99 ^c	2,91 ^{Bb}	3,36 ^{Bab}	3,88 ^a	0,62	3,04 ^B
T2 ^{***}	2,08 ^c	3,05 ^{ABb}	3,80 ^{ABa}	4,01 ^a	0,52	3,24 ^B
T3 ^{***}	2,61 ^c	3,61 ^{Ab}	4,39 ^{Aa}	4,11 ^{ab}	0,73	3,68 ^A
T4 ^{***}	2,44 ^b	3,43 ^{ABa}	3,79 ^{ABa}	4,02 ^a	0,92	3,42 ^{AB}
DMS	0,69	0,70	0,82	1,00	-	0,40
Média ^{**}	2,28 ^c	3,25 ^b	3,84 ^a	4,01 ^a	0,40	-

Outono - março a maio de 2016; Inverno - junho a agosto de 2016; Primavera - setembro a novembro de 2016; Verão - dezembro de 2016 a fevereiro de 2017; Níveis de significância - ^{ns}: não significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,0001$. Médias seguidas por letras maiúsculas distintas, diferem-se entre os tratamentos e, seguidas por letras minúsculas, entre os períodos sazonais.

Não houveram diferenças significativas dos incrementos de Dcopa e Acopa ao longo dos períodos sazonais (Tabela 32). Em condições tropicais a palma de óleo tende a expandir o Dcopa podendo absorver uma maior quantidade de radiação solar, que é utilizada em seu desenvolvimento (KOROM et al., 2016). Nas condições de Piracicaba, a cultura na sua fase jovem apresentou um bom crescimento destas características, fator esse que pode influenciar em uma boa produtividade desta (CORLEY; TINKER, 2016), no decorrer do experimento.

Tabela 32 - Análise estatística do incremento observado no diâmetro médio da copa das plantas de palma de óleo entre os tratamentos, por período sazonal.

Tratamentos	Incremento - Dcopa				DMS	Média ^{ns}
	Outono ^{ns}	Inverno ^{ns}	Primavera ^{ns}	Verão ^{ns}		
T1	0,10	0,09	0,07	0,07	0,14	0,08
T2	0,11	0,11	0,11	0,03	0,16	0,09
T3	0,11	0,10	0,06	0,04	0,24	0,08
T4	0,10	0,09	0,04	0,10	0,31	0,09
DMS	0,16	0,16	0,21	0,30	-	0,10
Média ^{ns}	0,10	0,10	0,07	0,06	0,10	-

Tratamentos	Incremento - Acopa				DMS	Média ^{ns}
	Outono ^{ns}	Inverno ^{ns}	Primavera ^{ns}	Verão ^{ns}		
T1	0,24	0,26	0,20	0,26	0,45	0,24
T2	0,26	0,32	0,37	0,13	0,55	0,27
T3	0,32	0,31	0,23	0,14	0,81	0,25
T4	0,29	0,29	0,15	0,39	0,99	0,28
DMS	0,46	0,47	0,68	1,05	-	0,35
Média ^{ns}	0,28	0,29	0,24	0,23	0,35	-

Outono - março a maio de 2016; Inverno - junho a agosto de 2016; Primavera - setembro a novembro de 2016; Verão - dezembro de 2016 a fevereiro de 2017; Níveis de significância - ^{ns}: não significativo.

O número de folhas emitidas (NFE) e sua curva modelada para a palma de óleo irrigada pode ser observada na Figura 41. Esta variável apresentou uma média geral de, aproximadamente, 38 folhas emitidas ao longo do período avaliado. O aumento do NFE seguiu um comportamento linear, como observado na Tabela 33.

Figura 41 - Comportamento do número de folhas emitidas da cultura da palma de óleo ao longo do período avaliado.

Tabela 33 - Equações de regressão para o número de folhas emitidas (NFE) pelas plantas em função dos meses após o transplântio (MAT).

Tratamentos	Equação: NFE = f (MAT)	r^2
T1	$1,5478x + 5,4503$	0,9568
T2	$1,5168x + 11,098$	0,9772
T3	$1,7261x + 8,8716$	0,9678
T4	$1,8676x + 7,5076$	0,9639

Na Tabela 34 pode ser observado que houve diferença significativa entre os tratamentos em praticamente todos os meses avaliados. Os tratamentos fertirrigados com vinhaça, apresentaram maiores médias de NFE, tendo T4 emitido aproximadamente 41 folhas. Esse valor foi semelhante ao encontrado por Maciel et al. (2013) em seu trabalho realizado em Roraima. Silva et al. (2017) relataram valores médios de NFE entre 17,2 e 16,6 em palma de óleo irrigada no Pará com idade de 1 ano, sendo estes inferiores aos encontrados por este experimento no mesmo período.

Tabela 34 - Análise estatística da variável número de folhas emitidas ao longo do experimento em Piracicaba-SP, Brasil.

Trat \ MAT	6**	7**	8**	9**	10**	11**
T1	16,50 ^B	17,33 ^B	18,00 ^B	19,00 ^B	19,67 ^B	20,83 ^B
T2	21,17 ^A	22,33 ^A	23,83 ^A	24,67 ^A	25,00 ^A	26,33 ^A
T3	20,33 ^{AB}	22,17 ^A	23,33 ^A	24,33 ^A	24,83 ^A	26,17 ^A
T4	20,50 ^{AB}	21,67 ^A	23,00 ^A	24,00 ^A	24,50 ^{AB}	26,17 ^A
DMS	4,03	4,12	4,47	4,87	4,90	4,81

Trat \ MAT	12**	13**	14**	15**	16**	17**
T1	22,83 ^B	25,33 ^B	26,50 ^B	29,00 ^B	31,17 ^B	33,33 ^B
T2	28,33 ^A	30,83 ^A	32,00 ^A	34,50 ^{AB}	35,83 ^{AB}	37,67 ^{AB}
T3	28,00 ^{AB}	30,67 ^A	32,50 ^A	35,17 ^A	37,50 ^A	39,67 ^{AB}
T4	28,33 ^A	31,33 ^A	32,83 ^A	36,17 ^A	38,50 ^A	40,83 ^A
DMS	5,18	4,89	5,34	5,61	6,02	6,36

MAT – Mês após o transplante; Trat.: tratamentos; DMS – diferença mínima significativa; CV – coeficiente de variação; Níveis de significância – ns: não significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

Para o incremento do NFE mensal (Tabela 35), houve diferença significativa apenas no 7º, 8º e 15º MAT, destacando T4 no 15º MAT, obtendo o maior NFE em todo o período avaliado. A palma de óleo, segundo Bulgarelli et al. (2002), pode emitir, até o oitavo ano de cultivo, entre 39 e 40 folhas por ano, o que equivale a 3,33 NFE mensalmente, valor superior aos observados em todos os tratamentos desse trabalho, exceto no 15º MAT, onde o T4 alcançou valor igual ao encontrado pelos autores.

Tabela 35 - Teste de comparação de médias referente ao incremento do número de folhas emitidas pela palma de óleo irrigada, em Piracicaba-SP.

Trat	MAT					
	6 ^{ns}	7 ^{***}	8 ^{***}	9 ^{ns}	10 ^{ns}	11 ^{ns}
T1	1,17	0,83 ^B	0,67 ^B	1,00	0,67	1,17
T2	1,50	1,17 ^{AB}	1,50 ^A	0,83	0,33	1,33
T3	1,67	1,83 ^A	1,17 ^{AB}	1,00	0,50	1,33
T4	1,67	1,17 ^{AB}	1,33 ^{AB}	1,00	0,50	1,67
DMS	0,99	0,86	0,70	1,16	0,99	0,78

Trat	MAT					
	12 ^{ns}	13 ^{ns}	14 ^{ns}	15 ^{***}	16 ^{ns}	17 ^{ns}
T1	2,00	2,50	1,17	2,50 ^B	2,17	2,17
T2	2,00	2,50	1,17	2,50 ^B	1,33	1,83
T3	1,83	2,67	1,83	2,67 ^{AB}	2,33	2,17
T4	2,17	3,00	1,50	3,33 ^A	2,33	2,33
DMS	0,70	1,11	0,99	0,70	1,16	1,26

MAT – mês após o transplante; Nível de significância - ***: $p < 0,0001$. Médias seguidas por letras maiúsculas distintas, diferem-se entre os tratamentos.

Comparando entre as estações do ano, houve diferença estatística entre os tratamentos em todos os períodos avaliados, sendo que os tratamentos fertirrigados com vinhaça apresentaram médias de NFE superiores ao T1 (Tabela 36).

Tabela 36 - Análise estatística do número de folhas emitidas das plantas de palma de óleo entre os tratamentos, por período sazonal.

Tratamentos	Outono ^{***}	Inverno ^{***}	Primavera ^{***}	Verão ^{***}	DMS	Média ^{***}
T1 ^{***}	16,39 ^{Bd}	18,89 ^{Bc}	23,00 ^{Bb}	28,89 ^{Ba}	1,82	21,79 ^B
T2 ^{***}	21,06 ^{Ad}	24,50 ^{Ac}	28,50 ^{Ab}	34,11 ^{Aa}	2,68	27,04 ^A
T3 ^{***}	20,39 ^{Ad}	24,17 ^{Ac}	28,28 ^{Ab}	35,06 ^{Aa}	2,46	26,97 ^A
T4 ^{***}	20,33 ^{Ad}	23,83 ^{Ac}	28,61 ^{Ab}	35,83 ^{Aa}	2,73	27,15 ^A
DMS	3,74	4,19	4,72	4,98	-	2,17
Média ^{***}	19,54 ^d	22,85 ^c	27,10 ^b	33,47 ^a	2,17	-

Outono - março a maio de 2016; Inverno - junho a agosto de 2016; Primavera - setembro a novembro de 2016; Verão - dezembro de 2016 a fevereiro de 2017; Nível de significância - ***: $p < 0,0001$. Médias seguidas por letras maiúsculas distintas, diferem-se entre os tratamentos e, seguidas por letras minúsculas, entre os períodos sazonais.

No incremento do NFE (Tabela 37), apenas o Outono apresentou diferença entre os tratamentos, onde T3 obteve a maior média incremental de NFE nessa estação.

Tabela 37 - Análise estatística do incremento observado no número de folhas emitidas das plantas de palma de óleo entre os tratamentos, por período sazonal.

Tratamentos	Outono**	Inverno ^{ns}	Primavera ^{ns}	Verão ^{ns}	DMS	Média*
T1**	1,05 ^{Bb}	0,78 ^b	1,89 ^a	1,94 ^a	0,61	1,42 ^B
T2**	1,50 ^{ABab}	0,89 ^b	1,94 ^a	1,67 ^a	0,67	1,50 ^{AB}
T3***	1,67 ^{Ab}	0,89 ^c	1,94 ^{ab}	2,28 ^a	0,59	1,69 ^{AB}
T4**	1,50 ^{ABb}	0,94 ^b	2,28 ^a	2,39 ^a	0,72	1,78 ^A
DMS	0,61	0,56	0,66	0,77	-	0,32
Média**	1,43 ^b	0,87 ^c	2,01 ^a	2,07 ^a	0,32	-

Outono - março a maio de 2016; Inverno - junho a agosto de 2016; Primavera - setembro a novembro de 2016; Verão - dezembro de 2016 a fevereiro de 2017; Níveis de significância - ^{ns}: não significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,0001$. Médias seguidas por letras maiúsculas distintas, diferem-se entre os tratamentos e, seguidas por letras minúsculas, entre os períodos sazonais.

Em todos os parâmetros avaliados entre as estações do ano, o Inverno se mostra inferior aos outros períodos, confirmando relato de Corley e Tinker (2016), onde os autores descrevem que em temperaturas médias mínimas abaixo dos 17°C, não ocorre, praticamente, o crescimento da cultura. Esta estação também apresentou as menores quantidades de horas de Sol, tendo pouca radiação para as plantas absorverem.

4.3. Análise química foliar

Na Tabela 38 estão apresentados os valores médios dos teores de nutrientes foliares, por tratamento, na palma de óleo irrigada.

Tabela 38 - Teores dos nutrientes foliares da palma de óleo irrigada.

Macronutrientes (g kg ⁻¹)						
Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
T1	24.97	1.50	7.93	8.53	4.83	1.27
T2	26.37	1.55	7.70	7.90	4.92	1.37
T3	23.33	1.47	7.30	8.87	5.67	1.27
T4	24.27	1.42	6.87	9.07	4.40	1.27
Micronutrientes (mg kg ⁻¹)						
Tratamentos	Cu	Fe	Zn	Mn	B	
T1	7.33	128.00	14.00	317.33	13.00	
T2	8.67	126.67	15.00	114.00	9.00	
T3	7.33	145.33	12.67	97.33	10.33	
T4	8.00	134.67	12.00	90.00	9.33	

Os teores dos nutrientes foliares obtidos neste experimento apresentaram valores inferiores aos que Uexkull e Fairhurst (1991) consideraram ideais para esta cultura, sendo que apenas Cu e Zn expressaram semelhança a faixa nutricional ótima descrita pelos autores. O P apresentou teores semelhantes aos de estudos feitos com a palma de óleo na Bahia (CHEPOTE; VALLE; SANTANA, 1988), Pará (VIÉGAS; MÜLLER, 2000) e Amazonas (RODRIGUES et al., 2006), enquanto K obteve valores próximos aos obtidos no Pará e Amazonas. Em experimento realizado por Guzmán (2014), a autora testou metodologias de extração dos nutrientes foliares em quatro diferentes cultivares da palma de óleo, onde os teores obtidos por ela são muito próximos os encontrados neste estudo. O Fe não possui muitos estudos relacionados aos seus níveis ótimos para a cultura. Com esses resultados, pode-se notar que, na região de Piracicaba, a cultura fertirrigada com vinhaça, não sofreu déficit nutricional, comprovando a eficácia desse efluente no fornecimento de nutrientes para a mesma.

A partir dos dados da análise química foliar, gerou-se curvas de regressão para os macro e micronutrientes (Figuras 42 e 43, respectivamente), podendo observar suas equações e r^2 nas Tabelas 30 e 40.

Figura 42 - Curva de regressão dos macronutrientes foliares em relação aos tratamentos na palma de óleo irrigada.

Tabela 39 - Equação de regressão dos macronutrientes extraídos da folha da palma de óleo.

Macronutriente	Equação	r ²	Pr<F
N	$-0,1167x^2 + 0,0700x + 25,4333$	0,280	0,8480
P	$-0,0258x^2 + 0,0968x + 1,4342$	0,845	0,3930
K	$-0,0500x^2 - 0,1100x + 8,1000$	0,999	0,0367
Ca	$0,2083x^2 - 0,7850x + 8,9917$	0,642	0,5980
Mg	$-0,3375x^2 + 1,6325x + 3,4042$	0,567	0,6583
S	$-0,0250x^2 + 0,1150x + 1,1917$	0,400	0,7746

Figura 43 - Curvas de regressão dos micronutrientes foliares na cultura da palma de óleo.

Tabela 40 - Equação de regressão dos micronutrientes extraídos da folha da palma de óleo.

Micronutrientes	Equação	r ²	P
Cu	$-0,1667x^2 + 0,9000x + 6,8333$	0,109	0,9439
Fe	$-2,3333x^2 + 15,5333x + 112,3333$	0,442	0,7468
Zn	$-0,4167x^2 + 1,2500x + 13,4167$	0,769	0,4804
Mn	$49,0000x^2 - 314,8667x + 574,3333$	0,956	0,2102
B	$0,7500x^2 - 4,7167x + 16,5833$	0,702	0,5459

Pode-se observar o ótimo ajuste do modelo quadrático para o K foliar (Tabela 39) e Mn foliar (Tabela 40). Na Figura 42, podemos observar que, a medida que se aumenta a dose de K distribuída via vinhaça, menores são os teores do mesmo na folha. Já o Mn (Figura 43) chega a um ponto de mínimo em uma dose ligeiramente maior que T3 e tende a aumentar sua concentração foliar a partir de então.

A diminuição do K foliar também foi relatada por Sun et al. (2011), onde a concentração desse nutriente nas folhas da palma de óleo era menor quando a planta não estava em estresse nutricional. Quando não ocorre esse estresse, a planta utiliza o K para realização de processos bioquímicos e fisiológicos (TAIZ; ZEIGER, 2006). Outra causa plausível da diminuição dos teores de K na folha são os altos teores de Ca encontrados neste trabalho, o que pode limitar a absorção do K, reduzindo sua concentração na planta (LEE et al., 2011).

Nas Tabelas 41 e 42, estão representadas as análises de correlação entre os nutrientes foliares e as características biométricas, além da clorofila. Pode-se observar a ocorrência de correlações negativas entre K e NFE, do Fe com as clorofilas A e A+B e do Mn com Dc e NFE.

Tabela 41 - Análise de correlação entre os macronutrientes da folha e as características biométricas e fisiológicas da planta.

Características	N	P	K	Ca	Mg	S
Alt	-0,106	-0,116	-0,318	-0,029	-0,102	0,190
Dc	-0,255	-0,150	-0,485	0,263	-0,085	0,010
Dcopa	-0,185	-0,277	-0,024	-0,100	-0,402	0,280
Acopa	-0,200	-0,316	-0,036	-0,075	-0,387	0,276
NFE	-0,262	-0,133	-0,697*	-0,117	0,352	-0,152
Clorofila A	-0,346	-0,044	-0,385	-0,167	0,145	-0,454
Clorofila B	0,031	0,087	-0,103	-0,172	-0,183	0,010
Clorofila A+B	-0,102	0,047	-0,212	-0,184	-0,079	-0,156

Alt – altura; Dc – diâmetro do coleto; Dcopa – diâmetro da copa; Acopa – área da copa; NFE – número de folhas emitidas

Tabela 42 - Análise de correlação entre os micronutrientes da folha e as características biométricas e fisiológicas da planta.

Características	Cu	Fe	Zn	Mn	B
Alt	0,087	-0,140	-0,178	-0,570	-0,176
Dc	0,128	-0,145	-0,303	-0,588*	-0,327
Dcopa	0,010	-0,202	-0,365	-0,068	-0,044
Acopa	0,008	-0,180	-0,361	-0,097	-0,081
NFE	0,055	-0,226	-0,408	-0,914***	-0,038
Clorofila A	-0,248	-0,641*	0,036	0,022	0,349
Clorofila B	0,095	-0,506	0,032	-0,016	0,365
Clorofila A+B	-0,021	-0,594*	0,036	-0,004	0,388

Alt – altura; Dc – diâmetro do coleto; Dcopa – diâmetro da copa; Acopa – área da copa; NFE – número de folhas emitidas

Pelo fato da planta utilizar grande quantidade de K em seus processos de crescimento e desenvolvimento (FREITAS; TEIXEIRA, 2010), a produção de folhas tem uma influência negativa na concentração de K foliar.

O Fe apresenta correlação negativa com as clorofilas, possivelmente por esse micronutriente ser necessário em grandes quantidades pela planta (TAIZ; ZEIGER, 2006), sendo assim, quanto mais clorofila, menos Fe pode ser encontrado na planta.

O Mn obteve correlações negativas com Dc e NFE. Possivelmente, a palma de óleo passou por um período de estresse, em consequência das baixas temperaturas ocorridas durante o experimento, contudo, os valores de Dc e NFE não diminuíram drasticamente. O que pode ter acontecido, foi que planta utilizou grande parte do Mn na produção de enzimas, tais como o superóxido dismutase e o oxilato oxidase (FRANZINI et al., 2016). Estas enzimas fazem com que a planta proteja suas células dos efeitos citotóxicos de um possível estresse (MARTINS et al., 2007) e promovem uma ação preventiva contra patógenos, tendo participação na transdução dos sinais entre hospedeiro-patógeno (STANGARLIN et al., 2011).

4.4. Índice de clorofila

As clorofilas nada mais são do que pigmentos naturais presentes em abundância nas plantas, formados por complexos derivados da porfirina, cujo átomo central é o Mg. Ocorrem nos cloroplastos das folhas, tendo como função a captação de energia solar, atua na oxidação

da água, gerando a liberação de oxigênio e reduzindo o dióxido de carbono, formando assim cadeias carbônicas, tais como o açúcar (TAIZ; ZEIGER, 2006; STREIT et al., 2005).

Durante a formação da clorofila, o K tem o papel de auxiliar o N nesta função, atribuindo uma melhor nutrição e maior crescimento das plantas quando fornecidos de forma conjunta. Na Tabela 43 está apresentado o quadro de análise de variância para a clorofila A+B, A, B e relação clorofila A/B. Nota-se que não ocorreu diferenciação estatística das clorofilas para Bl e T. Entretanto todas apresentaram diferença para MAT e T x B. As clorofilas A+B e B mostraram diferenças na interação T x MAT.

Tabela 43 - Resumo da análise de variância dos índices de clorofila da palma de óleo irrigada.

Fontes de variação	G.L.	Quadrado médio			
		Clorofila A+B	Clorofila A	Clorofila B	Relação clor. A/B
Modelo	53	78486,51***	13138,13***	36008,51***	11,63***
Blocos (Bl)	2	12397,86 ^{ns}	3570,39 ^{ns}	2668,32 ^{ns}	1,18 ^{ns}
Tratamentos (T)	3	1898,07 ^{ns}	960,96 ^{ns}	764,62 ^{ns}	1,14 ^{ns}
Mês após o transplântio (MAT)	7	514871,21***	86894,00***	240296,06***	78,07***
T x B	6	34778,60***	3844,46**	15690,54***	4,91**
MAT x B	14	6929,39 ^{ns}	1667,45 ^{ns}	2024,87 ^{ns}	0,73 ^{ns}
T x MAT	21	10453,04**	1506,10 ^{ns}	4583,66**	1,18 ^{ns}
Erro	546	5469,69	1069,74	2205,14	1,25
Total	599	-	-	-	-
Média	-	538,24	377,13	161,11	2,88
CV (%)	-	13,74	8,67	29,15	38,88
r ²	-	0,58	0,54	0,61	0,47

CV – coeficiente de variação; G.L. – graus de liberdade; ^{ns} – não significativo; * - significativo a $p < 0,05$; ** - significativo a $p < 0,01$; *** - significativo a $p < 0,0001$.

A Figura 44 ilustra o comportamento das clorofilas A, B, A+B e relação clorofila A/B. Nota-se que a clorofila B foi elevando seus valores a medida que a planta crescia, enquanto a clorofila A praticamente manteve um certo padrão. A relação clorofila A/B seguiu de forma oposta a clorofila B.

Figura 44 - Perfis médios dos índices de clorofila A (A), clorofila B (B), clorofila total (C) e relação entre clorofila A/B (D) na palma de óleo.

Realizando o teste de comparação de médias para a clorofila A entre os tratamentos avaliados (Tabela 44), nota-se a ocorrência de diferença significativa no 12º e 14º MAT, onde em ambas, T1 apresentou os melhores resultados para a esta característica.

Tabela 44 - Valores médios dos índices de clorofila A das folhas de palma de óleo, entre os tratamentos de fertirrigação ao longo de seu ciclo inicial.

MAT Trat.	2 ^{ns}	4 ^{ns}	6 ^{ns}	8 ^{ns}	10 ^{ns}	12 ^{**}	14 [*]	16 ^{ns}
T1	366,63	380,56	410,83	324,39	327,50	424,56 a	412,28 a	414,61
T2	367,46	368,71	409,92	333,22	322,83	416,78 ab	405,28 ab	403,56
T3	357,88	368,25	414,42	343,28	342,61	405,11 b	394,44 b	405,50
T4	337,79	371,58	404,58	328,72	643,17	419,67 ab	403,72 ab	414,67
DMS	31,72	17,65	24,82	47,53	34,06	16,72	15,09	18,36
CV (%)	11,73	6,26	5,50	16,23	11,57	4,56	4,24	5,09

CV – coeficiente de variação; ^{ns} – não significativo; ^{*} - significativo a $p<0,05$; ^{**} - significativo a $p<0,01$; ^{***} - significativo a $p<0,0001$.

Na Tabela 45, referentes aos teste de médias das clorofilas B e A+B, respectivamente, ocorreu uma diferença estatística entre os tratamentos no 2º MAT, onde T2 apresentou melhor média para ambas as características, enquanto no 12º e 14º MAT, T1 demonstrou as maiores médias, assim como observado na clorofila A.

Tabela 45 - Valores médios dos índices de clorofila B e A+B das folhas de palma de óleo, entre os tratamentos de fertirrigação ao longo do ciclo inicial da cultura.

Clorofila B								
MAT Trat.	2**	4 ^{ns}	6 ^{ns}	8 ^{ns}	10 ^{ns}	12***	14**	16 ^{ns}
T1	94,69 ab	108,12	150,25	129,67	131,33	240,22 a	224,67 a	242,89
T2	101,21 a	95,33	183,42	175,33	136,22	222,22 ab	212,94 ab	217,83
T3	94,67 ab	99,12	184,00	173,06	176,17	219,61 b	193,50 b	220,17
T4	74,75 b	96,29	145,25	154,61	158,17	228,72 ab	209,83 ab	242,44
DMS	24,38	13,69	53,68	65,78	67,76	18,09	27,30	25,24
CV (%)	35,28	18,14	29,46	47,22	51,12	9,02	14,74	12,41
Clorofila A+B								
MAT Trat.	2*	4 ^{ns}	6 ^{ns}	8 ^{ns}	10 ^{ns}	12***	14*	16 ^{ns}
T1	461,31 ab	488,69	561,08	454,06	458,83	664,78 a	636,94 a	657,50
T2	468,67 a	464,04	593,33	508,56	459,06	639,00 ab	618,22 ab	621,39
T3	452,54 ab	467,38	598,42	516,33	518,78	624,72 b	587,94 b	625,67
T4	412,54 b	467,88	549,83	483,33	501,33	648,39 ab	613,56 ab	657,11
DMS	54,72	30,38	73,16	105,71	96,25	31,62	39,99	41,67
CV (%)	16,11	8,51	11,56	24,34	22,55	5,57	7,39	7,39

CV – coeficiente de variação; ^{ns} – não significativo; * - significativo a $p<0,05$; ** - significativo a $p<0,01$; *** - significativo a $p<0,0001$.

A relação clorofila A/B apresentou diferenças significativas no 4º, 12º e 16º MAT, onde T2 apresentou maiores médias em relação aos outros, exceto no 16º MAT, onde T3 mostrou média semelhante a T2 (Tabela 46).

Tabela 46 - Valores médios da relação entre as clorofilas A e B, nas folhas de palma de óleo, entre os tratamentos de fertirrigação ao longo do ciclo inicial da cultura.

Trat. \ MAT	2 ^{ns}	4 [*]	6 ^{ns}	8 ^{ns}	10 ^{ns}	12 ^{***}	14 ^{ns}	16 ^{**}
T1	4,08	3,57 b	2,98	2,81	3,15	1,77 b	1,89	1,72 b
T2	4,19	3,99 a	2,41	2,29	3,24	1,90 a	1,93	1,87 a
T3	4,56	3,80 ab	2,40	2,57	2,41	1,85 ab	2,07	1,86 a
T4	4,83	3,94 ab	2,97	2,45	3,36	1,86 ab	1,96	1,73 ab
DMS	1,12	0,39	0,68	0,81	2,03	0,11	0,22	0,13
CV (%)	33,47	13,34	22,99	36,13	75,76	6,92	12,68	8,55

CV – coeficiente de variação; ^{ns} – não significativo; ^{*} - significativo a $p<0,05$; ^{**} - significativo a $p<0,01$; ^{***} - significativo a $p<0,0001$.

O aumento dos índices de clorofila B ao longo do tempo pode ser considerado um fator positivo, pois esta possibilita a captura de fótons de outros comprimentos de onda (VIEIRA et al., 2010). O aumento dos teores de clorofila B, e consequentemente da clorofila A+B, nesse experimento, aconteceu, pois, a folha designada para as leituras com o clorofilômetro é considerada uma folha de sombra (folha nº 4). Como nessas não há um excesso de incidência de luz, pelo efeito de sombreamento das folhas mais novas, então não ocorre estresse oxidativo, processo esse que, segundo Taiz e Zeiger (2006), pode aumentar o fluxo de elétrons na fase fotoquímica durante a fotossíntese, causando a redução da biossíntese e a degradação da clorofila. Em diferentes condições ambientais, o crescimento da planta se relaciona com sua eficiência fotossintética, sendo esta associada aos teores de clorofila, dentre outros fatores (SOUSA et al., 2010).

5. CONCLUSÕES

1. A palma de óleo apresentou valores de ET_c e K_c entre 2,16-5,00 e 0,71-1,06 respectivamente, no seu primeiro ano de cultivo irrigado.
2. Em sua fase jovem, a cultura respondeu de forma positiva a fertirrigação com vinhaça, sendo o T3 (75% da dose de K disponibilizado via fertirrigação por vinhaça) o que demonstrou melhores resultados quanto ao crescimento da cultura em Piracicaba-SP.
3. As características meteorológicas em Piracicaba-SP são, em grande parte, fatores positivo para o cultivo da palma de óleo na região.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. T. de E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; TUCCI, M. L. S.; CASTRO, C. E. F. de. **Boletim 200 - Instruções Agrícolas para as Principais Culturas Econômicas**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 7ª ed. 452 p. 2014.

AKPO, E.; STOMPH, T. J.; KOSSOU, D. K.; STRUIK, P. C. Growth dynamics of tree nursery seedlings: The case of oil palm. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 175, p. 251–257, ago. 2014.

ALANG, Z.; MOIR, G.; JONES, L. Composition, degradation and utilization of endosperm during germination in the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). **Annals of Botany**, London, n. 61, p. 261–268, 1988.

ALLEN, R. G.; HOWELL, T. A.; PRUITT, W.O.; WALTER, I.A.; JENSEN, M.E. Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements. Proceedings of the International Symposium on Lysimetry. **Anais...**Honolulu: Am. Soc. Civ. Engrs., 1991.

ALLEN, R. G.; SMITH, M.; PEREIRA, L. S.; PERRIER, A. An update for the calculation of reference evapotranspiration. **ICID Bull**, Honolulu, n. 43, p. 35–92, 1994.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. **Irrigation and Drainage Paper**, Rome: **FAO**. n. 56, 300 p., 1998.

ALLEN, R. G. **REF-ET: Reference evapotranspiration calculation software**, Idaho, 2000. Disponível em <<http://www.uidaho.edu/cals/kimberly-research-and-extension-center/research/water-resources/ref-et-software>>. Acesso em: 15 fevereiro 2014.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; HOWELL, T. A.; JENSEN, M. E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, n. 6, p. 899–920, 2011.

ALVES JÚNIOR, J. **Necessidade hídrica e resposta da cultura de lima ácida “Tahiti” a diferentes níveis de irrigação**. 2006. 101 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

ANDRADE, R. M. T. .; MICCOLIS, A. **Policies, institutional and legal framework in the expansion of Brazilian biofuels**. Bogor: Center for International Forestry Research (CIFOR), 39 p. 2011.

ANTONINI, J. C. dos A.; JUNQUEIRA, N. T. V.; MALAQUIAS, J. V.; VELOSO, R. F.; SANZONOWICZ, C.; SUESS, R. C.; GOMES, J. G. Consumo de água de irrigação e produtividade da palma de óleo cultivada nas condições edafoclimáticas de savana tropical. In: VII Workshop Agroenergia, 2013, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Apta Regional Centro Oeste, 2013. p. 1-7.

ARSHAD, A. M. Crop Evapotranspiration and Crop Water Requirement for Oil Palm in Peninsular Malaysia. **Journal of Biology, Agriculture and Healthcare**, Oxford, v. 4, n. 16, p. 23–28, 2014.

AYERS, R.; WESTCOT, D. Water quality for agriculture. **Irrigation and drainage paper. n. 29**. Rome: FAO. 175 p. 1985.

AZEVEDO, J. A. de; JUNQUEIRA, N. T. V.; BRAGA, M. F.; SÁ, M. A. C. de. Parâmetros de irrigação durante o período seco em plantas jovens de dendê cultivadas no cerrado. **Comunicado técnico 146**, Planaltina. 1. ed. p. 4, 2008.

BARBOZA JÚNIOR, C. R. A. **Evapotranspiração da lima ácida “Tahiti” (Citrus latifolia Tan.) determinada por lisimetria de pesagem**. 2007. 66 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

BARCELOS, E.; RODRIGUES, M. do R. L.; SANTOS, J. de A. dos; CUNHA, R. N. V. Produção de Mudanças de Dendêzeiro na Amazônia. **Circular técnica**, n. 8. Manaus. p. 1–12, 2001.

BASIRON, Y. Palm oil production through sustainable plantations. **European Journal of Lipid Science and Technology**, London, v. 109, n. 4, p. 289–295, 2007.

BASTOS, T. X.; MÜLLER, A. A.; PACHECO, N. A.; SAMPAIO, M. N.; ASSAD, E. D.; MARQUES, A. F. S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do dendêzeiro no estado do Pará Climatic risks zoning for oil palm in Pará state , Brazil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Sete Lagoas, v. 9, n. 3, p. 564–570, 2001.

BEESEON, R. C. Weighing lysimeter systems for quantifying water use and studies of controlled water stress for crops grown in low bulk density substrates. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, n. 6, p. 967–976, 2011.

BOATMAN, S. G.; CROMBIE, W. M. Fat metabolism in the West African Oil Palm (*Elaeis guineensis*). 1. Fatty acid formation in the maturing kernel. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 9, n. 25, p. 52–74, 1958.

BORGES, A. L.; SILVA, D. J. Fertilizantes para fertirrigação. In: SOUSA, V. F. et al. (Eds.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 253–264. 2011.

BULGARELLI, J.; CHINCHILLA, C.; ALVARADO, A. Vegetative growth of a Deli x AVROS cross. **ASD Oil Palm Papers**, San José, n. 24, p. 24–29, 2002.

CALVACHE, U. Manejo del riego en el cultivo de la palma aceitera. **El Palmicultor**, Santo Domingo de los Tsáchilas, n. 15, p. 33–38, 2002.

CAMPECHE, L. F. DE S. M. **Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de passagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima ácida “Tahiti” (Citrus latifolia Tan.)**. 2002. 79 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CETESB. Vinhaça - Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. **Normativa P4.231**, São Paulo. p. 1–12, 2006.

CHAN, K. W. A rapid method for studying the root distribution of oil palm and its application. **International development in oil palm - Incorporated Society of Planters**, Kuala Lumpur, p. 131–151, 1977.

CHEPOTE, R. E.; VALLE, R. R.; SANTANA, C. J. L. D. Resposta do dendezeiro à adubação mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 12, p. 257–262, 1988.

CLAESSEN, M. E. C.; BARRETO, W. DE O.; PAULA, J. L. de.; DUARTE, M. N. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS. 212 p. 1997.

CONCEIÇÃO, H. E. O.; MULLER, A. A. Botânica e morfologia do dendezeiro. In: VIEGAS, I. J. M. .; MULLER, A. A. **A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, p. 31–44. 2000.

COOK, O. F. A Brazilian origin for the commercial oil palm. **The Scientific Monthly**, Washington, v. 54, n. 6, p. 577–580, 1942.

CORLEY, R. H. V. Germination and seedling growth. In: CORLEY, R. H. V.; HARDON, J. J.; WOOD, B. J. **Oil Palm Research**. Amsterdam: Elsevier. 1976. p. 23–36.

CORLEY, R. H. V. Irrigation of oil palms – a review. **Journal of Plantation Crops**, Kerala, n. 24, p. 45–52, 1996.

CORLEY, R. H. V.; GRAY, B. S. Growth and morphology. In: CORLEY, R. H. V. .; HARDON, J. J.; WOOD, B. J. **Oil Palm Research**. Amsterdam: Elsevier, p. 7–21. 1976.

CORLEY, R. H. V.; HARDON, J. J.; TAN, G. . Analysis of growth of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) I. Estimation of growth parameters and application in breeding. **Euphytica**, London, v. 20, p. 307–315, 1971.

CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. **The Oil Palm**. 5ª ed. Chichester: John & Sons Ltd. 687 p. 2016.

CORLEY, R. H. V. How much palm oil do we need? **Environmental Science and Policy**, Exeter. v. 12, n. 2, p. 134–139, 2009.

CORLEY, R. H. V; MOK, C. K. Effects of Nitrogen, Phosphorus, Potassium and Magnesium on Growth of the Oil Palm. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 8, n. 4, p. 347–353, 1972.

COSTA, V. L.; KOVALESKI, J. L.; ANDRADE JUNIOR, P. P. de; COSTA, D. L.; MORCHEL, E. L. Transferência de tecnologia na produção de biodiesel: alternativa para inclusão social e desenvolvimento regional no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté. v. 9, n. 1, p. 17–39, 2013.

DINGMAN, S. L. **Physical hydrology**. New York: Waveland press, 2015. 575 p.

ELENGA, H.; SCHWARTZ, D.; VINCENS, A. Pollen evidence of late Quaternary vegetation and inferred climate changes in Congo. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 109, n. 2–4, p. 345–356, 1994.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA-Solos. 306 p. 2006.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Davis: Editora Planta. 2. ed. 2006. 403 p.

FARAHANI, H. J.; HOWELL, T. A.; SHUTTLEWORTH, W. J.; BAUSCH, W. C. Evapotranspiration: progress in measurement and modeling in agriculture. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 50, n. 5, p. 1627–1638, 2007.

FISHER, D. K.; ALLEN, R. G. Accuracies of lysimeter data acquisition systems. In: ALLEN, R. G.; HOWELL, T. A.; PRUITT, W. O. **Lysimeter for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: American Society of Agronomy, p. 406–415. 1991.

FLUMIGNAN, D. L. **Lisímetros de pesagem direta para o estudo do consumo hídrico do pinhão-mansô (*Jatropha curcas* L.)**. 2011. 202 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

FOLEGATTI, M. V.; AZEVEDO, B. M.; CAMPECHE, L. F. S. M.; NOVA, N. A. V.; PEREIRA, A.R. Evapotranspiração de referência obtida com a razão de Bowen, lisímetro de pesagem e equação de Penman-Monteith. *Engenharia Rural*, Piracicaba, v. 10, n. 2, p. 15-27, 1999.

FOONG, S. F. Potential evapotranspiration, potential yield and leaching losses of oil palm. In: BASIRON, Y. Kuala Lumpur: **International Palm Oil Conference Agriculture**. p. 105–119. 1993.

FOSTER, H. L.; PRABOWO, N. E. Variation in the potassium fertiliser requirements of oil palm in North Sumatra. In: International Palm Oil Congress Competitiveness for the 21st century. **Anais...**Kuala Lumpur: Palm Oil Research Institute of Malaysia, 1996.

FRANZINI, V. I.; SILVA, A. R. B. e; GOMES JUNIOR, R. A.; TEIXEIRA, P. C. Leaf nutrient concentrations among progenies of interspecific oil palm hybrid. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 13, n. 24, p. 630–642, 2016.

FREITAS, P. L.; TEIXEIRA, W. G. **Zoneamento Agroecológico, Produção e Manejo para a Cultura da Palma de Óleo na Amazônia. Parte II - Produção e manejo sustentáveis para a cultura da palma de óleo (dendezeiro) na Amazônia**. 1. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 216 p. 2010.

GAMARRA, Y. P. L. **Modelo de recomendação de adubação e calagem para a cultura de dendê (*Elaeis guineensis* Jacq.) com base em balanço nutricional**. 2013. 61 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

GAO, G.; CHEN, D.; XU, C.; SIMELTON, E. Trend of estimated actual evapotranspiration over China during 1960–2002. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 112, n. D11120, p. 1-8, 2007.

GOH, K. J. MAHAMOOTH, T. N.; PATRICK NG, H. C.; TEO, C. B.; LIEW, Y. A. Managing soil environment and its major impact on oil palm nutrition and productivity in Malaysia. **Advanced Agriecological Research Sdn. Bhd.**, Selangor Darul Ehsan, n. 11, p. 1–71, 1994.]

GOH, K. J. Climatic requirements of the oil palm for high yields. In: **Managing Oil Palm for High Yields: Agronomic Principles**. Sarawak, v. 1, n. 1, p. 1–17. 2000.

GURMIT, S. **Fertiliser responses in oil palms on a range of alluvial soils**. In: International Palm Oil Development Conference Agriculture. **Anais...** Kuala Lumpur: Palm Oil Research Institute of Malaysia, p. 383-394. 1989

GUZMÁN, C. P. H. **Teores referenciais de nutrientes em folhas de dendê (*Elaeis guineensis* Jacq.) para as condições da Amazônia**. 2014. 58 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

HENDERSON, F. M. Morphology and Anatomy of Palm Seedlings. **The Botanical Review**, Amsterdam, v. 72, n. 4, p. 273–329, 2006.

HENRY, P. Sur le développement des feuilles chez le palmier à huile. **Revue générale de botanique**, Paris, n. 62, p. 231–237, 1955a.

HENRY, P. Morphologie de la feuille d'*Elaeis* au cours de croissance. **Revue générale de botanique**, Paris, v. 32, n. 62, p. 319–323, 1955b.

HENSON, I. E. Carbon assimilation, respiration and productivity of young oil palm (*Elaeis guineensis*). **Elaeis**, Kajang, v. 4, n. 2, p. 51–59, 1992.

HENSON, I. E. Carbon assimilation, water use and energy balance of an oil palm plantation assessed using micrometeorological techniques. In: Int. Palm Oil Congr. Agriculture, 1995, Kuala Lumpur. **Anais...**Kuala Lumpur: Palm Oil Research Institute of Malaysia, 1995. p. 137-158.

HOWELL, T. A. Lysimetry. In: HILLEL, D. **Encyclopedia of Soils in the Environment**. Amsterdam: Elsevier, p. 379–386. 2004.

HOWELL, T.; MCCORMICK, R.; PHENE, C. Design and Installation of Large Weighing Lysimeters. **Transactions of the ASAE**, Washington, v. 28, n. 1, p. 106–117, 1985.

JAAFAR, H. Z. E.; HAFIZ, M. Photosynthesis and Quantum Yield of Oil Palm Seedlings to Elevated Carbon Dioxide. In: **Advances in Photosynthesis - Fundamental Aspects**. InTech, Rijeka, v. 1993. 321–340. 2012.

JACQUEMARD, J. C. Contribution à l'étude de la croissance en hauteur du stipe d'*Elaeis guineensis* Jacq. Etude du croisement L2T x D10D. **Oléagineux**, Paris, v. 34, n. 11, p. 492–497, 1979.

JOUANNIC, S.; LARTAUD, M.; HERVÉ, J.; COLLIN, M.; ORIEUX, Y.; VERDEIL, J. L.; TREGGAR, J. W. The shoot apical meristem of oil palm (*Elaeis guineensis*; Arecaceae): Developmental progression and dynamics. **Annals of Botany**, London, v. 108, n. 8, p. 1477–1487, 2011.

JOURDAN, C.; MICHAUX-FERRIÈRE, N.; PERBAL, G. Root System Architecture and Gravitropism in the Oil Palm. **Annals of Botany**, London, v. 85, n. 6, p. 861–868, 2000.

JOURDAN, C.; REY, H. Architecture and development of the oil-palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) root system. **Plant and Soil**, Lincoln, v. 189, n. 1, p. 33–48, 1997.

KALLARACKAL, J.; JEYAKUMAR, P.; GEORGE, S. J. Water use of irrigated oil palm at three different arid locations in Peninsular India. **Journal of Oil Palm Research**, Selangor, v. 16, n. 1, p. 45–53, 2004.

KASSAM, A. H.; VAN VELTHUIZEN, H. T.; FISHER, G. W.; SHAH, M. M. **Agro-Ecological land resources assessment for agricultural development planning**. Rome: International Institute for Applied Systems Analysis, 1993. 224 p.

KEE, K. K.; CHEW, P. S. Oil palm responses to nitrogen and drip irrigation in a wet monsoonal climate in Peninsular Malaysia. In: Int. Palm Oil Conf. Agriculture, 1993, Kuala Lumpur. **Anais...**Kuala Lumpur: Palm Oil Research Institute of Malaysia, 1993. p. 321-335.

KEE, K. K.; CHEW, P. S. Nutrient loss through surface runoff and soil erosion – implications for improved fertilizer efficiency in mature oil palms. In Int. Oil Palm Congr., 1996, Kuala Lumpur. **Anais...**Kuala Lumpur: Palm Oil Research Institute of Malaysia, 1996. p. 153-169.

KEE, K. K.; CHEW, P. S. Nutrients recycled from pruned fronds in mature oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). In: Plant nutrition for sustainable food production and the environment, 1997, Dordrecht. **Anais...**Dordrecht: Kluwer Academic Press, p. 601-602. 1997

KIRKHAM, M. B. **Principles of soil and plant water relations**. 1. ed. Burlington: Elsevier. 2005. 485 p.

KONAN, K. SÉVERIN, A.; WONGBÉ, Y.; DOUMBIA, S.; EUGÈNE, K. K.; ALPHONSE, K. N.; BOAKÉ, K.; DIABATÉ, S. Détermination de la dose optimale de fumure potassique sous culture de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) dans les conditions du sud-est de la Côte d'Ivoire: cas du matériel végétal en cours de vulgarisation. **European Scientific Journal**, Ponta Delgada, v. 10, n. 18, p. 447–465, 2014.

KOROM, A.; PHUA, M.-H.; MATSUURA, T. Relationships between crown size and aboveground biomass of oil palms: an evaluation of allometric models. **Sains Malaysiana**, Selangor, v. 45, n. 4, p. 523–533, 2016.

LASCANO, R. J.; SOJKA, R. E. **Irrigation of agricultural crops**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 664 p. 2007.

LEE, C-T.; RAHMAN, Z. A.; MUSA, M. H.; NORIZAN, M. S.; TAN, C-C. Leaf nutrient concentrations in oil palm as affected by genotypes, irrigation and terrain. **Journal of Oil Palm and the Environment**, Selangor, n. 2, p. 38–47, jul. 2011.

LEGROS, S.; MIALET-SERRA, I.; CALIMAN, J. P.; SIREGAR, F. A.; CLEMENT-VIDAL, A.; FABRE, D.; DINGKUN, M. Phenology, growth and physiological adjustments of oil palm (*Elaeis guineensis*) to sink limitation induced by fruit pruning. **Annals of Botany**, London, v. 104, n. 6, p. 1183–1194, 2009.

LEMO, W. de P.; LIMA, M. de M.; NUNES, L.; JOSÉ, C. Artropodofauna de solo com potencial de uso em programas de controle biológico de pragas em cultivos alternativos de palma de óleo (*Elaeis guineensis*). **Circular técnica**. Manaus: EMBRAPA - Amazônia Oriental. 7 p. 2011.

LIM, K. H.; CHUAH, J. H.; HO, C. Y. Improving water management practices on oil palm through the water balance concept. In: Int. Planters Conf. Management for enhanced profitability in plantations, 1994, Kuala Lumpur. **Anais...** Kuala Lumpur: Incorporated Society of Planters, 1994. p. 101-119.

LING, A. H. Some lysimetric measurements of evapotranspiration of oil palm in central Peninsular Malaysia. In: Symp. Water in agriculture in Malaysia, 1979, Kuala Lumpur. **Anais...** Kuala Lumpur: Malaysian Society of Soil Science, 1979. p. 89-101.

MACIEL, F. C. da S.; CORDEIRO, A. C. C.; CORREIA, R. G.; SILVA, W. L. M da; SILVA, M. W. da; LIMA, M. L. M. Desenvolvimento vegetativo da palma de óleo em ecossistemas de savana e floresta de Roraima. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 5, n. 3, p. 194–199, 2011.

MACIEL, F. C. da S.; CORDEIRO, A. C. C.; LIMA, A. C. S.; CORREIA, R. G.; SILVA, W. L. M. da; LOPES, A. D. de O. Desenvolvimento vegetativo de cultivares de palma de óleo dos 14 aos 34 meses de idade em ecossistemas de Roraima. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 7, n. 3, p. 304–312, 2013.

MAENE, L. M.; CHONG, C. P. Drop size distribution and erosivity of tropical rainstorms under the oil palm canopy. In: Res. Rep. Sci. Dept, 1979, Serdang. **Anais...** Serdang: Universiti Pertanian Malaysia, 1979. p. 81-93.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 638 p. 2006.

MAREK, T. H. SCHNEIDER, A. D.; HOWELL, T. A.; EBELING, L. L. Design and construction of large weighing monolithic lysimeters. **Transactions of ASAE**, Washington, v. 31, n. 2, p. 477-484. 1988.

MARSCHNER, P. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 2. ed. London: Academic Press, 651 p. 2012.

MARTÍNEZ, O. HIDALGO, D.; LEMA, V.; REINOSO, V.; CAMACHO, O.; REYES, S.; MORALES, R.; CALVACHE, M.; BERNAL, G.; VEGA, C. Response to irrigation (growth and production) of three varieties of oil palm (*Elaeis guineenses* Jacq.) in the zone of La Concordia, Ecuador. **ASD Oil Palm Papers**, San José, n. 40, p. 33–37, 2013.

MARTINS, A. SOARES, S.; LIMA, O.; MACHADO, T. Defesa de plantas: Sinalização química e espécies reativas de oxigênio. **R. Tróp. Ci. Agr. Biol**, São Luís, v. 1, n. 9, p. 9–19, 2007.

MARTINS, C.; ANDRADE JR, P. P. Produção de biodiesel no Brasil: estratégia de sustentabilidade social, econômica e ambiental. **Sustainable Business International Journal**, Rio de Janeiro. p. 1–16, 2014.

MCCABE, G. J.; MARKSTROM, S. L. A Monthly water-balance model driven by a graphical user interface. **U.S. Geological Survey**, Washington. p. 1–12, 2007.

MCFARLAND, M. J.; WORTHINGTON, J. W.; NEWMAN, J. S. Design, Installation and Operation of a Twin Weighing Lysimeter for Fruit-Trees. **Transactions of the Asae**. St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 26, n. 6, p. 1717–1721, 1983.

MDA - MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. **Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel**. Brasília: Governo Federal, 2011. 48 p.

MEIJIDE, A.; RÖLL, A.; FAN, Y.; HERBST, M.; NIU, F.; TIEDEMANN, F.; JUNE, T.; RAUF, A.; HÖLSCHER, D.; KNOHL, A. Agricultural and Forest Meteorology Controls of water and energy fluxes in oil palm plantations : Environmental variables and oil palm age. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 239, p. 71–85, 2017.

MOREL, A. FRIEDMAN, R.; TULLOCH, D.; CALDECOTT, B. Stranded Assets in Palm Oil Production: A Case Study of Indonesia. Oxford: Smith school of enterprise and the environment. n. 2, 83 p. 2016.

MORTON, A. G. **A study of the relationship between growth and mycorrhizal development in the oil palm**. International report, London: Lever Bros & Unilever Ltd. 15 p. 1942.

MURPHY, D. J. Future Prospects for biofuels. **Chimica oggi**, Milano, v. 26, n. 1, p. 14–19, 2008.

MURUGESAN, P.; SHAREEF, M. Yield , bunch quality and vegetative traits of American oil palm (*Elaeis oleifera*, HBK) population in India. **Indian Journal of Horticulture**, Madras, v. 71, n. 1, p. 23–27, 2014.

NADARAJAH, P. Species of Endogonaceae and mycorrhizal association of *Elaeis guineensis* and *Theobroma cacao*. In: MIKOLA, P. **Tropical mycorrhiza research**. Oxford: Oxford Science Publish, 1980. p. 232–237.

NG, S. K. **Review of oil palm nutrition and manuring. Scope for greater economy in fertilizer usage**. Paris: Oléagineux. v. 32, n. 5. 1972. 142 p.

NIU, F.; RÖLL, A.; HARDANTO, A.; MEIJIDE, A.; KÖHLER, M.; HÖLSCHER, D. Oil palm water use: calibration of a sap flux method and a field measurement scheme. **Tree Physiology**, Oxford, v. 35, p. 563–573, 2015.

OLIVEIRA, M. DO S. P. de; CARVALHO, J. E. U. de; NASCIMENTO, W. M. O. DO; MÜLLER, C. H. Cultivo do açaizeiro para produção de frutos. **Circular Técnica**, n. 26, Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 18 p. 2002.

PABÓN SILVA, H. Sistemas de Riego en Palma Africana : Eficiencia y Costos. **Palmas**, Bogotá, v. 6, n. 1, p. 38–40, 1985.

PALAT, T.; SMITH, B. G.; CORLEY, H. Irrigation of oil palm in Southern Thailand. In: Proc. of the International Planters Conference, 2000, Kuala Lumpur. **Anais...** Kuala Lumpur: Incorporated Society of Planters, p. 303-315. 2000.

PEREIRA, A. R.; VILA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PRUITT, W. O.; LOURENCE, F. J. Experiences in lysimetry for ET and surface drag measurements. In: Advances in Evapotranspiration. **American Society of Agricultural Engineers**, Joseph, p. 74-85–69, 1985.

PTASINSKI, K. J. **Efficiency of biomass energy**. 1. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2016. 761 p.

PURVIS, C. The root system of the oil palm: its distribution, morphology and anatomy. **Journal of the West African Institute Oil Palm Research**, Benin, n. 4, p. 60–82, 1956.

RAMOS, G. L. **Palmáceas alternativas para incremento da produção de biodiesel**. 2010. 103 p. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) - Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

RAYMOND, G. L. The oil palm industry. **Tropical Science**, London, n. 3, p. 69–89, 1961.

REES, A. R. Relationship between crop growth rate and leaf area index in the oil palm. **Nature**, London, v. 197, n. 4862, p. 63–64, 1963.

REY, H.; DUFRENE, E.; QUENCEZ, P.; DUBOS, B. Oil palm water profiles and water supplies in Côte d'Ivoire. **Plantations, recherche, développement**, Paris, n. 5, p. 47–57, 1998.

RICHARDSON, D. L. The history of oil palm breeding in the United Fruit Company. **ASD Oil Palm Papers**, San José, n. 11, p. 1–22, 1995.

RODRIGUES, M. R. L.; AMBLARD, P.; BARCELOS, E.; MACEDO, J.L.V.de; CUNHA, R.N.V.da; TAVARES, A.M. Avaliação do Estado Nutricional do Dendzeiro: Análise Foliar (Reformulada). **Circular técnica**. n. 26. Manaus: Embrapa Amazônia Oriental. 12 p. 2006.

ROSA, G. N. G. P. **Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do coqueiro**. 2002. 63 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

RUER, P. Morphologie et anatomie du système racinaire du palmier à huile. **Oléagineux**, Paris, n. 22, p. 595–599, 1967.

RUER, P.; VARECHON, C. Premières observations sur les caractéristiques du pétiole de la feuille de palmier à huile. **Oléagineux**, Paris, n. 19, p. 539–542, 1964.

SENTELHAS, P. C.; FARIAS, R.T.; CHAVES, M.O.; HOOMGENBOOM, G. Evaluation of the WGEN and SIMMETEO weather generators for the brazilian tropics and subtropics, using crop simulation models. **Rev. Bras. Agrometeor.**, Sete Lagoas, v. 9, n. 2, p. 357–376, 2001.

SIDHU, M.; SINURAYA, Z.; HASYIM, A. Yield response of young mature oil palms to NPK fertiliser application on loamy sand in Riau province, Indonesia. **Planter**, Kuala Lumpur, n. 80, p. 689–708, 2004.

SILVA, P. A.; COSME, V. S.; RODRIGUES, K. C. B.; DETMANN, K. S. C.; LEÃO, F. M.; CUNHA, R. L.; FESTUCCI BUSELLI, R. A.; DAMATTA, F. M.; PINHEIRO, H. A. Drought tolerance in two oil palm hybrids as related to adjustments in carbon metabolism and vegetative growth. **Acta Physiologiae Plantarum**, Kraków, v. 39, n. 58, p. 12, 2017.

SILVA, C. R. DA. **Evapotranspiração e desenvolvimento de limeira ácida “Tahiti” na ausência e presença de estresse hídrico**. 2005. 99 p Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SILVA, M. A. S. da; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático\nUse of stillage and its impact on soil properties and groundwater. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v. 11, n. 1, p. 108–114, 2007.

SOUSA, J. V. de; RODRIGUES, C. R.; LUZ, Q.; CARVALHO, P. C. de; RODRIGUES, T. M.; BRITO, C. H. de. Silicato de potássio via foliar no milho: fotossíntese, crescimento e produtividade. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 4, p. 502–513, 2010.

SOUZA, J. **Dendê**, Cruzeiro. 2010. Disponível em: <<http://www.ceplac.gov.br/radar/dende.htm>>. Acesso em: 30 agosto 2015.

STANGARLIN, J. R.; KUHN, O. J.; TOLEDO, M. V.; PORTZ, R. L.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F.; PASCHOLATI, S. F. A defesa vegetal contra fitopatógenos. **Sci. Agrar. Paran.**, Marechal Cândido Rondon, v. 10, n. 1, p. 18–46, 2011.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W. do; HECKTHEUER, L. H. H. As Clorofilas. **Ciênc. Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 748–755, 2005.

SUN, C.; CAO, H.; SHAO, H.; LEI, X.; XIAO, Y. Growth and physiological responses to water and nutrient stress in oil palm. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v. 10, n. 51, p. 10465–10471, 2011.

TAILLIEZ, B. The root system of the oil palm on the San Alberto plantation in Colombia. **Oléagineux**, Paris, n. 26, p. 435–447, 1971.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 720 p. 2006.

TEIXEIRA, P. C.; RODRIGUES, H. S.; LIMA, W. A. A.; ROCHA, R. N. C.; CUNHA, R. N. V.; LOPES, R. Influência da disposição dos tubetes e da aplicação de fertilizantes de liberação lenta, durante o pré-viveiro, no crescimento de mudas de dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.). **Ciência Florestal**, Santa Maria. v. 19, n. 2, p. 157–168, 2009.

TINKER, P. B. Soil requirements of the oil palm. In: CORLEY, R. H. V.; HARDON, J. J.; WOOD, B. J. **Oil Palm Research**. Amsterdam: Elsevier, 1976. p. 165–181.

TINKER, P. B.; NYE, P. H. **Solute movement in the rhizosphere**. Oxford: Oxford University Press, 443 p. 2000.

TOMLINSON, P. B. Anatomy of the monocotyledons. In: **II Palmae**. Oxford: Oxford University Press, 453 p. 1961.

UEXKULL, H. R.; FAIRUHURST, T. H. **Fertilizing for high yield and quality the oil palm**. Bern: International Potash Institute, 79 p. 1991.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Oilseeds: World Markets and Trade. Foreign Agricultural Service**. Washington, 2017. 39 p.

VAINSENCER, S. A. **Dendê**. Disponível em: <http://basilio.fundaj.gov.br/pesquisaescolar/index.php?option=com_content&view=article&id=247:dende&catid=39:letra-d>. Acesso em: 26 ago. 2015

VAN GENUCHTEN, M. T. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison. v. 44, n. 5, p. 892–898, 1980.

VERHEYE, W. Growth and Production of Oil Palm. **Encyclopedia of Life Support Systems**, Abu Dhabi, p. 1–25, 2010.

VIÉGAS, I. J.; MÜLLER, A. A. A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira. In: **Nutrição e adubação do dendezeiro**. Manaus: Embrapa Amazônia Oriental; Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p. 229-273.

VIEIRA, D. A. de P.; PORTES, T. de A.; STACCIARINI-SERAPHIN, E.; TEIXEIRA, J. B. Fluorescência e teores de clorofilas em abacaxizeiro cv. Pérola submetido a diferentes concentrações de sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 360–368, 2010.

YAMPOLSKI, C. A contribution to the study of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). **Bulletin du Jardin Botanique Buitenzorg**, Bogor, n. 5, p. 74–107, 1922.

YAMPOLSKI, C. The Pneumathodes on the Roots of the Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). **American Journal of Botany**, Lancaster, v. 11, n. 8, p. 502–512, 1924.

YUSOP, Z.; HUI, C. M.; GARUSU, G. J.; KATIMON, A. Estimation of evapotranspiration on oil palm catchments by short-time period water-budget method. **Malaysian Journal of Civil Engineering**, Johor, v. 20, n. 1, p. 160–174, 2008.

ZEVEN, A. C. On the Origin of the Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). **Grana Palynologica**, Stockholm, v. 5, n. 1, p. 121–123, 1964.

ZEVEN, A. C. **The semi-wild oil palm and its industry in Africa**. Wageningen: Centre for Agricultural Publications and Documentation, 180p. 1967.

ZIMMERMANN, M. H. .; TOMLINSON, P. B. Anatomy of the palm *Rhapis excelsa*. I. Mature vegetative axis. **Journal of the Arnold Arboretum**, Cambridge, v. 46, n. 2, p. 160–180, 1965.

ANEXO A

Tabela 47 - Composição química do solo da área experimental da palma de óleo (período anterior à implantação).

Camadas	pH CaCl ₂	M.O.	P resina	S SO ₄	K	Ca	Mg	H+Al	Al	S.B	CTC	v	m
m		g dm ⁻³	---mg dm ⁻³ --					-----mmol _c dm ⁻³ -----				-----%----	
0,0-0,2	5,4	41,7	5,7	2,7	3,0	48,0	21,7	38,3	0,3	72,7	111,0	65,3	0,7
0,2-0,4	5,3	35,0	4,7	10,3	1,2	43,0	20,3	38,0	0,3	65,0	103,0	62,3	0,7
0,4-0,6	5,4	29,7	5,7	6,3	0,8	41,3	17,7	34,0	0,0	60,0	94,0	63,0	0,0

M.O. – matéria orgânica; P – fósforo; S – enxofre; K – potássio; Ca – Cálcio; Mg – magnésio; Al – alumínio; S.B. – soma de bases; CTC – capacidade de troca catiônica; v% - saturação por bases; m% - saturação por alumínio.

Tabela 48 - Composição química do solo da área experimental da palma de óleo, por tratamento (período posterior a aplicação da fertirrigação com vinhaça).

Trat.	Camadas	pH CaCl ₂	M.O.	P resina	S SO ₄	K	Ca	Mg	H+Al	Al	S.B	CTC	v	m
	m		g dm ⁻³	---mg dm ⁻³ --				-----mmol _c dm ⁻³ -----					-----%----	
T1	0,0-0,2	5,2	19,0	8,3	9,3	1,4	23,0	10,3	34,3	0,3	34,7	69,0	50,3	1,0
	0,2-0,4	5,2	15,0	6,7	9,7	1,5	24,7	10,0	33,3	0,3	36,3	69,7	52,0	1,0
T2	0,0-0,2	5,3	17,3	8,0	8,7	1,3	26,3	14,3	32,3	0,3	42,0	74,3	56,7	0,7
	0,2-0,4	5,2	14,3	9,3	15,0	1,2	22,7	11,7	32,3	0,7	35,7	68,0	52,7	2,0
T3	0,0-0,2	5,7	20,0	14,0	10,3	4,4	36,0	18,7	27,0	0,0	59,0	86,0	68,0	0,0
	0,2-0,4	5,5	12,7	11,7	20,3	1,8	29,7	15,3	28,0	0,0	46,7	74,7	62,3	0,0
T4	0,0-0,2	5,6	20,7	26,3	9,7	3,2	40,3	20,3	28,0	0,0	63,7	91,7	70,0	0,0
	0,2-0,4	5,5	15,3	15,0	20,0	2,0	42,0	16,7	29,0	0,0	61,0	90,0	68,0	0,0

M.O. – matéria orgânica; P – fósforo; S – enxofre; K – potássio; Ca – Cálcio; Mg – magnésio; Al – alumínio; S.B. – soma de bases; CTC – capacidade de troca catiônica; v% - saturação por bases; m% - saturação por alumínio.

Tabela 49 - Disponibilidade de micronutrientes no solo da área experimental da palma de óleo (período anterior à implantação da cultura).

Camadas	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	DTPA				Água quente
m	-----mg dm ⁻³ -----				
0,0-0,2	4,9	28,0	2,4	33,6	0,2
0,2-0,4	3,9	23,2	1,4	22,7	0,2
0,4-0,6	2,8	17,1	0,8	15,6	0,2

Cu – cobre; Fe – ferro; Zn – zinco; Mn – manganês; B – boro; DTPA – ácido dietilenotriaminopentaacético.

Tabela 50 - Disponibilidade de micronutrientes no solo da área experimental da palma de óleo, por tratamento (período posterior à implantação da cultura).

Tratamento	Camadas	Cu	Fe	Zn	Mn	B
		DTPA				Água quente
	m	-----mg dm ⁻³ -----				
T1	0,0-0,2	3,9	16,8	1,9	23,7	0,3
	0,2-0,4	3,5	12,7	1,0	14,5	0,2
T2	0,0-0,2	3,3	14,3	1,5	22,1	0,2
	0,2-0,4	3,2	11,4	0,9	14,1	0,3
T3	0,0-0,2	4,3	15,7	2,6	24,1	0,2
	0,2-0,4	3,3	12,3	1,0	10,6	0,2
T4	0,0-0,2	4,8	19,3	2,4	30,8	0,2
	0,2-0,4	4,3	16,7	1,5	23,3	0,2

Cu – cobre; Fe – ferro; Zn – zinco; Mn – manganês; B – boro; DTPA – ácido dietilenotriaminopentaacético.