



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA
MESTRADO EM AGRONOMIA
EXAME DE DEFESA**

ERIKA DE OLIVEIRA TEIXEIRA DE CARVALHO

**DEMANDA HÍDRICA E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA EM ÁREA DE
COQUEIRO-ANÃO-VERDE (*Cocos nucifera*) IRRIGADO EM SANTA IZABEL
DO PARÁ, AMAZÔNIA ORIENTAL**

BELÉM – PA

2022

ERIKA DE OLIVEIRA TEIXEIRA DE CARVALHO

**DEMANDA HÍDRICA E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA EM ÁREA DE
COQUEIRO-ANÃO-VERDE (*Cocos nucifera*) IRRIGADO EM SANTA IZABEL
DO PARÁ, AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da
Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Agronomia

Orientador: Prof. Dr. Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza

Coorientadora: Dra. Deborah Luciany Pires Costa

BELÉM – PA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C331d Carvalho, Erika de Oliveira Teixeira de
Demanda hídrica e eficiência do uso da água em coqueiro-anão-verde (*Cocos nucifera*) irrigado em Santa Izabel do Pará, Amazônia Oriental / Erika de Oliveira Teixeira de Carvalho. - 2022.
66 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Agronomia (PPGA), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2022.
Orientador: Prof. Dr. Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza
Coorientador: Profa. Dra. Deborah Luciany Pires Costa.

I. de Oliveira Ponte de Souza, Paulo Jorge, *orient.* II. Título

630.251509811

CDD

ERIKA DE OLIVEIRA TEIXEIRA DE CARVALHO

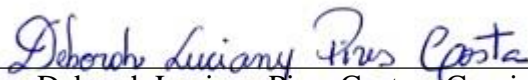
**DEMANDA HÍDRICA E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA EM ÁREA DE
COQUEIRO-ANÃO-VERDE (*Cocos nucifera*) IRRIGADO EM SANTA IZABEL
DO PARÁ, AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências deste para o título de Mestre. Área de concentração: Agronomia.

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza – Orientador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA



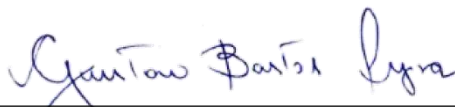
Dra. Deborah Luciany Pires Costa – Coorientadora
EXTERNO



Dr. Paulo Manoel Pontes Lins – 1º Examinador
EMPRESA SOCOCO S/A INDÚSTRIAS DA AMAZÔNIA



Dr. Fábio Rodrigues de Miranda – 2º Examinador
EMBRAPA AGROINDÚSTRIA TROPICAL



Dr. Gustavo Bastos Lyra – 3º Examinador

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO - UFRRJ

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

AGRADECIMENTOS

À Deus, autor e consumidor da minha fé, pelo seu doce amor e maravilhosa graça;

Aos meus pais, José Erlandio Teixeira e Maria M. O. Teixeira, pelo apoio e compreensão de sempre. Por todos os princípios e valores repassados a mim. Por serem minhas maiores inspirações e exemplos de vida. Eu amo vocês;

Ao meu marido, Alan Bremer P. de C., por estar comigo durante toda essa trajetória. Por sempre me apoiar, motivar e acreditar no meu potencial e, principalmente, por todo amor, cuidado e compreensão. Você foi essencial nessa jornada! Eu amo você;

A minha irmã, cunhado e sobrinhos, Elânia Lima, Antônio Lima, Maria Analice, Anthony Arthur e a minha cunhada, sogra e sobrinhas, Nayany Palheta, Clélia Palheta, Letycia Palheta, Adelly Palheta e Maria Elise pela torcida, companheirismo e amizade;

Aos meus avôs, Iraides Oliveira, Joca Oliveira, Eliezer Teixeira (*in memoriam*) e a minha avó, Rita Alves, por todos os princípios repassados a nossa família;

À Dona Maria e Deco (*in memoriam*), pela torcida e por todas as risadas compartilhadas;

Aos meus familiares, por toda ajuda, incentivo e apoio que recebi durante todos esses anos, minha eterna gratidão a vocês;

À Universidade Federal Rural da Amazônia, pelo apoio no decorrer do curso de mestrado;

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PGAgro) pela oportunidade de cursar o mestrado;

À Reunidas Sococo, em nome do Dr. Paulo M. P. Lins, por ser um apoiador da pesquisa, pela concessão da bolsa de estudo e por todo o suporte fornecido ao longo desses anos;

Aos colaboradores da Reunidas Sococo, em especial ao Lucas Faro, Leandro Silva, George Silva, Bruno Morais, Rafael Matos, Maurício Machado, Anderson Cravo, Marcus Silva, Benedito Nascimento, Lucas Araújo, Lucas Almeida, Eide Lopes, Edilberto Sampaio, Lucivaldo Pantoja, Nilton Kleber, Josias Moreira, Henrique Santos por toda disposição, suporte e auxílio na realização do experimento;

Ao grupo Interação Solo Planta Atmosfera na Amazônia – ISPAAm, por todo apoio, companheirismo e amizade ao longo desses anos. Em especial, João Nóvoa, Hildo Garcia, Joyse Tatiane, Denis de Pinho;

À família Logística Sococo, em nome do Gabriel Tavares, Matheus Rua, Adrielle Monteiro, Stefany Lisboa, Denilson Barreto, Maria de Lourdes, Vitor Ferreira, Henderson Junior, Luis Trindade, Tatiana Barros, Wendel Vieira, Leandro Navarro, Kaio Pereira por toda dedicação, responsabilidade e suporte ao longo do experimento. Pelo

companheirismo, amor e amizade que contruímos. Vocês foram fundamentais para a realização desse trabalho. Sentirei saudades do nosso convívio diário e das boas risadas que compartilhamos. Amo vocês;

À Grasiela Dias e ao Bruno Maia pela torcida, amizade e parceria;

Aos colegas Mauro Borges, Matheus Augusto, Victor Oliveira pela colaboração no experimento;

Aos meus amigos do Foco no 10, Gabriel Teixeira, Igor Cristian, Francisco Souza e Matheus Freitas pela amizade e irmandade que consolidamos, que mesmo distantes fisicamente sempre estiveram presente através de mensagens e chamadas de vídeo, tornando essa jornada mais leve;

À minha amiga e irmã do coração, Luma Santana, que sempre esteve comigo em todos os momentos. Por todas as orações, conselhos, pela nossa amizade e irmandade. Por acreditar em mim, apoiar e incentivar sempre. Amo você, amiga;

Ao meu Orientador, Professor Dr. Paulo Jorge O. P. de Souza, por todas as orientações, pela oportunidade e confiança ao longo desses anos;

À minha Coorientadora e mãe na pesquisa, Dr. Deborah L. Pires C., pelo apoio, orientações e estímulos ao longo dessa trajetória. Pelo amor e amizade que contruímos que transcedeu para a vida pessoal;

Aos avaliadores da banca, Dr. Paulo M. P. Lins, Dr. Fábio R. de Miranda e ao Dr. Gustavo B. Lyra por aceitarem o convite e contribuírem com esse momento tão importante e especial que é a conclusão deste mestrado;

E a todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

RESUMO

O coqueiro-anão-verde (*Cocos nucifera* L.) possui elevada importância socioeconômica devido à crescente demanda por água de coco, contribuindo para o aumento dos plantios irrigados. No entanto, informações que possam auxiliar na tomada de decisão, no planejamento e no manejo da irrigação de forma eficiente ainda são escassos para a região estudada. O objetivo desse estudo foi determinar a evapotranspiração máxima da cultura (ET_c), os coeficientes de cultivo simples (K_c) e duplo (K_e e K_{cb}) e a eficiência do uso da água do coqueiro-anão-verde irrigado em um plantio comercial sob as condições microclimáticas de Santa Izabel do Pará, Amazônia brasileira. O experimento foi conduzido em uma área irrigada de aproximadamente 7 ha ($01^\circ 13' 40,16''$ S e $48^\circ 02' 54,35''$ W), com plantas de coqueiro-anão no quarto ano de produção. Uma torre micrometeorológica foi instalada na área para realizar as medições de radiação global incidente, saldo de radiação, fluxo de calor no solo, temperatura do ar e umidade relativa do ar, velocidade do vento, precipitação pluviométrica. Foram determinados a evapotranspiração máxima, pelo método balanço de energia – razão de Bowen, os coeficientes de cultivo simples (K_c) e dual (K_{cb} e K_e), a evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith-FAO56 e a eficiência do uso da água em termos de produção de frutos assim como de produção de água de coco. A evapotranspiração acumulada do coqueiro-anão no período de agosto a novembro foi de 488,88 mm (2020) e 480,09 mm (2021), período que corresponde aos meses de manejo da irrigação. A ET_0 subestimou as necessidades hídricas do coqueiro, sendo 5,1% inferior que a ET_c . Os valores médios de K_c , K_{cb} e K_e foram de 1,1; 0,51 e 0,56, respectivamente. O volume de água de coco por fruto e o peso dos frutos aumentam durante o período mais chuvoso e diminuem na época seca, mesmo com o uso do sistema de irrigação. A EUA_f foi de 1,87 frutos m^{-3} (2020) e 2,94 frutos m^{-3} (2021) e a EUA_{ac} de 0,66 L m^{-3} (2020) e 0,98 L m^{-3} (2021). Esses resultados demonstram que as condições ambientais influenciam na demanda hídrica do coqueiro e são fundamentais para uma gestão mais eficiente dos sistemas de irrigação, contribuindo para a sustentabilidade dos recursos hídricos.

PALAVRAS-CHAVE: *Cocos nucifera*. Evapotranspiração. Coeficiente de cultivo. Eficiência do uso da água. Razão de Bowen. Micrometeorologia.

ABSTRACT

The green dwarf coconut palm (*Cocos nucifera* L.) has high socioeconomic importance due to the growing demand for coconut water, contributing to the increase of irrigated plantations. However, information that can assist in decision making, planning and irrigation management efficiently is still scarce for the studied region. The objective of this study was to determine the maximum crop evapotranspiration (ET_c), the single crop coefficient (K_c) and dual (K_e and K_{cb}) and the irrigation water use efficiency of the green dwarf coconut in a commercial plantation under the microclimatic conditions of Santa Izabel do Pará, Brazilian Amazon. The experiment was approximately in an irrigated area of 7 ha (01° 13' 40,16" S e 48° 02' 54,35" W), with coconut-pot plants in the fourth year of production. A micrometeorological tower was installed in the area to perform measurements of incident global radiation, radiation balance, soil heat flux, air temperature and relative air humidity, wind speed, rainfall. The maximum evapotranspiration was determined by the energy balance method – Bowen ratio, the simple (K_c) and dual (K_{cb} and K_e) coefficients, the evapotranspiration of reference by the Penman-Monteith-FAO56 method and the efficiency of water use in terms of fruit production as well as of coconut water production. The accumulated evapotranspiration of the coconut tree in the period from August to November was 488.88 mm (2020) and 480.09 mm (2021), which correspond to the months of irrigation management. ET_0 underestimated the water needs of the coconut tree, being 5.1% lower than ET_c . The mean values of K_c , K_{cb} and K_e were 1.1, 0.51 and 0.56, respectively. The volume of coconut water per fruit and the weight of the fruits increases during the wettest period and decrease in the less rainy season, even with the use of the irrigation system. The WUE_f was 1.87 fruits m^{-3} (2020) and 2.94 fruits m^{-3} (2021) and the WUE_{ac} 0.66 L m^{-3} (2020) and 0.98 L m^{-3} (2021). These results demonstrate that environmental conditions influence the water demand of coconut palm swells and are fundamental for a more efficient management of irrigation systems, contributing to the sustainability of water resources.

KEYWORDS: *Cocos nucifera*. Evapotranspiration. Cultivation coefficient. Water use efficiency. Bowen's reason. Micrometeorology.

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

- ANA – Agência Nacional de Águas
- BERB – Balanço de energia baseado na razão de Bowen
- DPV – Déficit de pressão de vapor;
- E – Evaporação;
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;
- ET – Evapotranspiração;
- ET0 – Evapotranspiração de referência;
- ETc – Evapotranspiração máxima da cultura;
- EUA_{ac} – Eficiência do uso da água em termos de água de coco;
- EUA_f – Eficiência do uso da água em termos de produção de frutos;
- FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura;
- I – Irrigação;
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- Kc – Coeficiente de cultura simples;
- Kcb – Coeficiente de cultivo basal;
- Ke – Coeficiente de evaporação do solo;
- N_f – Número de frutos;
- P_{ac} – Produtividade de água de coco;
- Pef – Precipitação efetiva;
- P_f – Produtividade de frutos;
- PF – Peso do fruto;
- PP – Precipitação pluviométrica;
- Rg – Radiação global incidente;
- Rn – Saldo de radiação;
- Tar – Temperatura do ar;
- U₂ – Velocidade do vento a 2 metros;
- UR – Umidade relativa do ar;
- US – Umidade do solo;
- V_{ac} – Volume de água de coco;

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.1 – Área Experimental, Santa Isabel do Pará.....	26
Figura 1.2 – Componentes botânicos do (a) coqueiro-anão-verde, (b) folha, (c) inflorescência, (d) fruto e (e) estipe.....	27
Figura 1.3 – Caracterização climática das regiões de acordo com Köppen-Geiger.....	27
Figura 1.4 – Balanço hídrico climatológico, de acordo com dados do INMET, em Castanhal-PA, no período de 2003 a 2021	28
Figura 1.5 – Componentes de um sistema de microlisímetro. (A) é o cap, (B) é o microlisímetro, (C) é o envoltório do microlisímetro e (D) é o microlisímetro instalado no solo	33
Figura 1.7 – Produtividade do (a) coqueiro-anão-verde, (b) cacho, (c) fruto, (d) paisagem do fruto, (e) abertura do fruto, (f) retirada da água de coco e (g) volume de água de coco	35
Figura 1.8 – Variação de (a) radiação global incidente (R_g), saldo de radiação (R_n) e temperatura do ar (T_{ar}); (b) déficit de pressão de vapor (DPV) e velocidade do vento (U_2) e (c) precipitação pluviométrica (PP), irrigação (I), precipitação efetiva (P_{ef}) e umidade volumétrica do solo (US), durante o período de agosto de 2020 a dezembro de 2021 ..	36
Figura 1.9 – Variação no número de folhas e cachos do coqueiro-anão-verde, durante o período de agosto de 2020 a dezembro de 2021, em Santa Isabel do Pará.....	38
Figura 1.10 – Média diária da evapotranspiração de referência (ET_0) e da evapotranspiração da cultura (ET_c) a cada 5 dias em um plantio irrigado de coqueiro-anão-verde em Santa Isabel do Pará, durante o período de agosto a novembro, dos anos de 2020 e 2021.....	41
Figura 1.11 – Curva de coeficiente de cultura (K_c), coeficiente de evaporação (K_e) e coeficiente de cultura basal (K_{cb}) do coqueiro-anão-verde, durante o período de agosto a novembro, dos anos de 2020 e 2021.....	43
Figura 1.12 – Evaporação da linha e entrelinha do coqueiro-anão-verde nas condições meteorológicas de Santa Isabel do Pará, durante o período de agosto a novembro de 2020	44

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 – Área Experimental, Santa Izabel do Pará.....	56
Figura 2.2 – Produtividade do (a) coqueiro-anão-verde, (b) cacho, (c) fruto, (d) pesagem do fruto, (e) abertura do fruto, (f) retirada da água de coco e (g) volume de água de coco	59
Figura 2.3 – Variação de (a) radiação global incidente (R_g); (b) temperatura do ar (T_a) e umidade relativa do ar (UR); (c) precipitação pluviométrica (PP), irrigação (I), evapotranspiração da cultura acumulada (ET_c) e umidade volumétrica do solo (US), para as duas torres micrometeorológicas, durante os anos de 2020 e 2021	60
Figura 2.4 – Variação temporal do (a) número de frutos (NF) por planta e número de flores femininas (fecundadas e não fecundadas) por inflorescência (NFF) e (b) volume de água de coco (V_{ac}) por planta e peso médio do fruto (PF), durante os anos de 2020 e 2021	62

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1.1 – Caracterização físico-química e hídrica do solo da área experimental para o ano de 2020.....	28
Tabela 1.3 – Limites de aceitabilidade dos valores obtidos pelo método da razão de Bowen.....	31
Tabela 1.4 – Valores médios de saldo de radiação (R_n); do fluxo de calor latente (LE) e do fluxo de calor sensível (H) e do fluxo de calor no solo (G), em MJ m ⁻² dia ⁻¹ , durante o período de uso do sistema de irrigação nos anos de 2020 e 2021, em Santa Izabel do Pará.....	39
Tabela 1.5 – Valores médios de evapotranspiração de referência (ET ₀); evapotranspiração da cultura (ET _c); coeficiente de cultivo simples (K _c); coeficiente de cultivo basal (K _{cb}) e coeficiente de evaporação (K _e) nas condições meteorológicas de Santa Izabel do Pará, durante o período uso do sistema de irrigação em 2020 e 2021 ..	45
Tabela 1.6 – Valores médios de número de frutos, volume de água de coco, produtividade em termos de frutos e de água de coco, durante o período menos chuvoso dos anos de 2020 e 2021	46

CAPÍTULO 2

Tabela 2.1 – Caracterização físico-química e hídrica do solo da área experimental para o ano de 2020.....	56
Tabela 2.2 – Produtividade em termos de fruto (P _f) e água de coco (P _{ac}), evapotranspiração da cultura (ET _c) e eficiência do uso da água do coqueiro-anão-verde em produção de frutos (EU _{Af}) e volume de água de coco (EU _{Aac}) nas condições meteorológicas de Santa Izabel do Pará-PA, para os anos de 2020 e 2021	64

SUMÁRIO

CONTEXTUALIZAÇÃO	15
REFERÊNCIAS	19
CAPÍTULO 1 – EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTES DE CULTIVO DO COQUEIRO-ANÃO-VERDE EM SANTA IZABEL DO PARÁ, AMAZÔNIA BRASILEIRA	22
INTRODUÇÃO	24
MATERIAL E MÉTODOS	26
RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
CONCLUSÃO	47
CAPÍTULO 2 – EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA EM COQUEIRO IRRIGADO NAS CONDIÇÕES DE CLIMA TROPICAL ÚMIDO NA AMAZÔNIA ORIENTAL	52
RESUMO	Erro! Indicador não definido.
INTRODUÇÃO	54
MATERIAL E MÉTODOS	55
RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
CONCLUSÃO	65
REFERÊNCIAS	65

CONTEXTUALIZAÇÃO

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é uma planta monocotiledônea, perene, pertencente à família Arecaceae, com caule do tipo estipe e sem ramificação, tem sistema radicular fasciculado, folhas do tipo pinada, inflorescência paniculada e fruto classificado como uma drupa (PASSOS, 2018). As condições meteorológicas recomendadas para seu cultivo são temperatura do ar média anual em torno de 27 °C, umidade relativa de aproximadamente 80% e precipitação pluviométrica anual acima de 1.500 mm e mensal nunca inferior a 130 mm (PASSOS et al., 2018).

As variedades encontradas no Brasil são a *typica* e a *nana*. A *typica* (coqueiro-gigante) é considerada rústica e com produção de frutos destinada para a agroindústria, por meio da utilização do coco-seco (PERERA et al., 2001). A *nana* (coqueiro-anão) é constituída de três cultivares (Amarela, Verde e Vermelha) sendo preferencialmente utilizada em áreas irrigadas, destinadas a produção de água de coco, destacando-se a anão-verde como a mais cultivada, em decorrência do maior rendimento, qualidade e palatabilidade da água (FERREIRA NETO et al., 2007).

O coqueiro-anão apresenta de 25 a 30 folhas em sua copa, podendo emitir até 18 folhas por ano em condições ambientais favoráveis, enquanto em condições desfavoráveis, com presença de déficit hídrico, salinidade e doença, esse número de folhas é reduzido, interferindo negativamente na produtividade (CASTRO; PASSOS; ARAGÃO, 2009). As inflorescências desenvolvem-se nas axilas das folhas, sendo protegidas por brácteas formando a espata, contendo na base as flores femininas e nos terços terminais as masculinas (PASSOS, 2018).

O fruto é formado pelo epicarpo (parte externa do fruto), mesocarpo (parte fibrosa que é envolvida pelo epicarpo) e o endocarpo (parte interna que envolve a semente). O endocarpo também abriga o albúmen sólido, camada branca e carnosa e o albúmen líquido de cor opalescente, mais conhecido como água de coco. Em condições ideais, o coqueiro-anão, apresenta produção em torno de 150 a 200 frutos por planta.ano⁻¹ (BENASSI et al., 2007).

Essa palmeira apresenta crescimento e produção contínua ao longo do ano, em condições favoráveis de clima e solo (SOUSA et al., 2011). É amplamente difundida em mais de 200 países, tendo o Sudeste e Sul Asiático como possível centro de origem (MARTINS; CUENCA, 2018; SANTOS 2020). Entretanto, sua exploração comercial

ocorre em torno de 90 países, grande parte na zona intertropical, devido as condições edafoclimáticas apropriadas para seu cultivo (MARTINS; JUNIOR, 2014).

A cocoicultura possui elevada importância socioeconômica, contribuindo com a geração de emprego e renda (SOUSA et al., 2011), em função da grande quantidade de produtos e coprodutos derivados como a copra, óleo, leite, coco ralado, farinha, fibra, doces, bebidas e dermocosméticos (GOMES; PRADO, 2007). Além desses, o mercado de água de coco tanto *in natura* como para envase tem contribuído para a expansão do cultivo de coco-verde (KUMAR et al., 2021).

A água de coco possui alto valor nutricional sendo composta por carboidratos, vitaminas, sais minerais e antioxidantes, apresentando propriedades benéficas a saúde, que contribuem com a prevenção de deficiências nutricionais e auxiliam em processos gastrointestinais (COSTA et al., 2005; SOARES et al., 2018; VIGLIAR; SDEPANIAN; FAGUNDES-NETO, 2006). Tais propriedades têm favorecido o mercado de água de coco e tem crescido consideravelmente nos mercados interno e externo nos últimos anos (KUMAR et al., 2021).

De acordo com projeções de crescimento, o consumo de água de coco no mercado global apresentará incremento, saindo de US\$ 2,19 bilhões em 2017 para US\$ 8,34 bilhões em 2023 (OLIVEIRA; ARAUJO, 2019). Essa evolução deve-se, principalmente, ao interesse comercial que a bebida vem alcançando, em razão da sua composição, tornando-se uma alternativa de isotônico natural para vários atletas e praticantes de atividades físicas (CHAGAS et al., 2017; PINTO et al., 2015).

Os cinco maiores produtores mundiais de coco são Indonésia, Filipinas, Índia, Brasil e Sri Lanka, detendo aproximadamente 82% da produção mundial que é de 61,5 milhões de toneladas (FAO, 2022). O Brasil foi o 4º maior produtor mundial de coco, com produção de 2,5 milhões de toneladas e área colhida de aproximadamente 187,5 mil hectares (FAO, 2022).

Dentre os estados nacionais produtores, o Ceará lidera o ranking na produção nacional de coco, apresentando uma quantidade produzida de 405 milhões de frutos, em 2020. Apesar disso, o estado do Pará também ganha destaque, sendo considerado o 3º maior produtor nacional e o primeiro maior produtor da região Norte, com uma produção de 189,6 milhões de frutos e rendimento médio de 9,9 mil frutos ha⁻¹ (IBGE, 2022).

No Brasil, o cultivo de coco, em grande parte da variedade gigante, se estendeu por toda a região Nordeste, após a sua introdução pelo Estado da Bahia, o que resultou na denominação de coco-da-baía (RIBEIRO et al., 2010). Em outras regiões do país, entre elas, a região Norte, a crescente demanda por água de coco, ocasionou a disseminação do seu cultivo, principalmente da variedade anã por ser a mais indicada para essa finalidade, contribuindo com o aumento de plantios irrigados, devido a maior sensibilidade do coqueiro-anão ao déficit hídrico (KUMAR et al., 2021; FERREIRA NETO et al., 2007).

O déficit hídrico é caracterizado não só pela baixa quantidade de água no solo como também pelas altas taxas transpiratórias, que limitam o desenvolvimento da cultura e proporcionam efeitos negativos no crescimento e produtividade (SILVA et al., 2017). Além disso, em locais que apresentam subtipo climático “Am”, apesar dos altos volumes de chuvas, estas ocorrem de forma irregular (SOUZA et al., 2013; TESTEZLAF, 2017). Com isso, o sistema de irrigação tem sido uma alternativa para os períodos em que a quantidade de água disponível é inferior a demandada pela cultura, com intuito de reduzir a vulnerabilidade às condições climáticas (RADIN; SCHÖNHOFEN; TAZZO, 2018).

A agricultura irrigada é uma das principais atividades demandantes de água (FOLEY et al., 2011). Sua utilização de forma intensiva e indiscriminada tem gerado preocupações a nível global, pois incorrem em problemas não só ambientais e econômicos, como também, sociais (FITO; VAN HULLE, 2021). Logo, o uso de tecnologias e estratégias que visem o racionamento do uso dos recursos hídricos, para um manejo mais eficiente dos sistemas de irrigação, tem sido objeto de estudo de muitos pesquisadores.

A demanda hídrica do coqueiro-anão está em torno de 100 a 240 L planta⁻¹ dia⁻¹, e pode chegar até a 350 L planta⁻¹ dia⁻¹ (MIRANDA et al., 2019). Esse alto consumo de água estar relacionado não só as características da cultura e do solo, como também, às condições climáticas em que o coqueiro está inserido, como velocidade do vento, intensidade de radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar, que irão influenciar nas taxas de evapotranspiração (CARVALHO et al., 2013; ABDELKHALIK et al., 2020).

O conhecimento da evapotranspiração do coqueiro e do seu coeficiente de cultivo (Kc) é uma importante ferramenta no planejamento, dimensionamento e manejo do sistema de irrigação, pois promove maior otimização no uso da água e da energia elétrica,

evitando desperdícios, uma vez que indica a quantidade de água necessária para o pleno crescimento e desenvolvimento da cultura (BELAY et al., 2019; ALMEIDA et al., 2019).

Estudos sobre evapotranspiração de culturas perenes ainda são escassos, principalmente devido as dificuldades na utilização das metodologias em razão de seu alto porte e de sua permanência em campo. Entretanto, o uso de métodos como o de balanço de energia baseado na razão de Bowen (BERB) podem ser empregados em qualquer cultura, desde que os critérios básicos sejam adotados, como a instrumentação adequada, a presença do gradiente de temperatura e umidade dentro da camada limite de fluxo constante e o correto controle de qualidade dos dados (SOUZA et al., 2018).

Muitos estudos têm comprovado a precisão do método, como o de Souza et al. (2011), que comparando os valores da evapotranspiração do coqueiro calculada por meio do BERB com medições lisimétricas, encontraram um índice de concordância e de desempenho de 0,92 e 0,81, respectivamente, classificando-os como muito bom e assegurando que o método pode ser utilizado com boa precisão e exatidão na obtenção de ETc.

Embora a necessidade hídrica do coqueiro tenha sido objeto de estudo realizado por outros autores, como Miranda et al. (2007) no Ceará; Sousa et al. (2011) em Sergipe e Azevedo et al. (2006) em Sergipe, essa demanda e seus efeitos dependem das condições edafoclimáticas de cada região, sendo indispensável estudos dessa natureza em outras regiões produtoras, a fim de entender a influência das variáveis meteorológicas no sistema solo-planta-atmosfera.

Somado a isso, informações que possam auxiliar na tomada de decisão, no planejamento e no manejo da irrigação de forma eficiente ainda são escassos para a região estudada. Existem muitas lacunas relacionadas ao cultivo do coqueiro-anão-verde, principalmente em relação a sua demanda hídrica assim como a produtividade da água como alternativa para o manejo sustentável da irrigação e da cultura de acordo com às condições meteorológicas. A ausência desses estudos compromete o crescimento e desenvolvimento do coqueiro, acarretando frutos de má qualidade e em baixas produtividades como também o uso indiscriminado da água, ocasionando em dispêndios financeiros, por parte dos produtores, e problemas ambientais (LINS; FARIAS NETO; MÜLLER, 2003; FERREIRA NETO et al., 2007)

Assim, considerando a importância da cocoicultura e a carência de informações sobre o manejo hídrico para a região estudada, essa pesquisa objetivou determinar a evapotranspiração máxima da cultura (ET_c), os coeficientes de cultivo simples (K_c) e dual (K_e e K_{cb}) e a eficiência do uso da água do coqueiro-anão-verde irrigado em um plantio comercial sob as condições microclimáticas de Santa Izabel do Pará, Amazônia oriental.

Para isso a dissertação foi dividida em dois capítulos:

Capítulo 1 – Evapotranspiração e coeficientes de cultivo do coqueiro-anão-verde em Santa Izabel do Pará, Amazônia brasileira

Objetivos Específicos: (a) Determinar a partição dos componentes do balanço de energia; (b) estimar a evapotranspiração diária e o consumo hídrico do coqueiro-anão-verde pelo método balanço de energia - razão de Bowen (c) determinar os coeficientes da cultura simples (K_c) e duplo (K_e e K_{cb}).

Capítulo 2 – Eficiência do uso da água em coqueiro irrigado nas condições de clima tropical úmido na Amazônia oriental

Objetivos Específicos: (a) Determinar a produtividade física do coqueiro-anão; (b) estimar a evapotranspiração do coqueiro-anão-verde (c) calcular a eficiência do uso da água em termos de fruto e de água de coco.

REFERÊNCIAS

- ABDELKHALIK, A. et al. Effects of deficit irrigation on the yield and irrigation water use efficiency of drip-irrigated sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) under Mediterranean conditions. **Irrigation Science**, v. 38, n. 1, p. 89–104, 2020.
- ALMEIDA, M. J. de. et al. Reposição deficitária de água e adubação com organomineral no crescimento e produção de tomateiro industrial. **IRRIGA**, v. 24, n. 1, p. 69–85, 2019.
- AZEVEDO, P. V. de. et al. Water-use efficiency of dwarf-green coconut (*Cocos nucifera* L.) orchards in northeast Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 84, n. 3, p. 259–264, 2006.
- BELAY, S. A. et al. Conservation agriculture saves irrigation water in the dry monsoon phase in the Ethiopian Highlands. **Water**, v. 11, n. 10, p. 2103, 2019.
- BENASSI, A. C. et al. Biometric characterization in fruitages of green dwarf coconut palm (*Cocos nucifera* L.) in different stages of development. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 2, p. 302–307, 2007.

- CARVALHO, I. R. et al. Demanda hídrica das culturas de interesse agrônomo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 969–985, 2013.
- CASTRO, C. P.; PASSOS, E. E. M.; ARAGÃO, W. M. The phenology of dwarf coconut cultivars in north of Sergipe coastal tablelands. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 1, p. 13–19, 2009.
- CHAGAS, T. P. N. et al. Impacto da reposição hídrica com água de coco sobre o estado de hidratação e cardiovascular drift durante o exercício. **Journal of Physical Education (Maringá)**, v. 28, n. 1, p. 1–10m 2017.
- COSTA, L. M. C. et al. Avaliação de água-de-coco obtida por diferentes métodos de conservação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 6, p. 1239–1247, 2005.
- FAO. FAOSTAT. Crops. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 22 mai. 2021.
- FITO, J.; HULLE, S. W. H. V. Wastewater reclamation and reuse potentials in agriculture: towards environmental sustainability. **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, n. 3, p. 2949–2972, 2021.
- FOLEY, J. A. et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 337–342, 2011.
- GOMES, F. P.; PRADO, C. H. B. A. Ecophysiology of coconut palm under water stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 377–391, 2007.
- KUMAR, M. et al. Nutritional and metabolomics characterization of the coconut water at different nut developmental stages. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 96, p. 103738, 2021.
- LIMA, J. R. S. de. et al. Energy balance and evapotranspiration in cowpea under rainfed conditions. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 42, n. 1, p. 65–74, 2011.
- LINS, P. M. P.; FARIAS NETO, J. T. de; MÜLLER, A. A. Avaliação de híbridos de coqueiro (*Cocos nucifera* L.) para produção de frutos e de albúmen sólido fresco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 3, p. 468–470, 2003.
- MARTINS, C. A.; JESUS JUNIOR, L. A. de. Produção e comercialização de coco no Brasil frente ao comércio internacional: panorama 2014. **Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, 53p**, 2014.
- MARTINS, C. R.; CUENCA, M. A. G. Panorama da produção e comércio mundial. In: FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N. & SIQUEIRA, L. A., 3. ed. A cultura do coqueiro no Brasil. Brasília, Embrapa, 2018. p.13-24.
- MIRANDA, F. R. De. et al. Eficiência do uso da água na irrigação do coqueiro anão. **IRRIGA**, v. 24, n. 1, p. 109–124, 2019.
- NETO, M. F. et al. Quality of green fruits of “anão verde” coconut in relation to doses of nitrogen and potassium via fertigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 453–458, 2007.

- OLIVEIRA, D. M. de., ARAUJO, J. P. P. de. Drivers de mercado de produtos do coco e o desenvolvimento de novas cultivares de coqueiro no Brasil. **Embrapa Tabuleiros Costeiros-Documentos (INFOTECA-E)**, 2019.
- PASSOS, E. E. M. et al. Ecofisiologia. In: FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N. & SIQUEIRA, L. A., 3. ed. A cultura do coqueiro no Brasil. Brasília, Embrapa, 2018. p.91-100.
- PASSOS, E. E. M. Morfologia. In: FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N. & SIQUEIRA, L. A., 3. ed. A cultura do coqueiro no Brasil. Brasília, Embrapa, 2018. p.81-90.
- PERERA, L. et al. Levels and distribution of genetic diversity of coconut (*Cocos nucifera* L., var. *typica* form *typica*) from Sri Lanka assessed by microsatellite markers. **Euphytica**, v. 122, n. 2, p. 381–389, 2001.
- PINTO, A. C. L. et al. Água de coco em pó como suplemento hidroeletrolítico e energético para atletas. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 21, n. 5, p. 390–394, 2015.
- RADIN, B.; SCHÖNHOFEN, A.; TAZZO, I. F. Impacto da quantidade e frequência de chuva no rendimento da soja. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, p. 19–26, 2018.
- RIBEIRO, F. E. et al. Population structures of Brazilian tall coconut (*Cocos nucifera* L.) by microsatellite markers. **Genetics and Molecular Biology**, v. 33, n. 4, p. 696–702, 2010.
- SANTOS, M. M. S. et al. Ecophysiology of the tall coconut growing under different coastal areas of northeastern Brazil. **Agricultural Water Management**, v.232, p.106047, 2020.
- SILVA, A. R. A. da. et al. Physiological responses of dwarf coconut plants under water deficit in salt-affected soils. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 2, p. 447–457, 2017.
- SOARES, K. et al. Quality of unprocessed cooled fresh coconut water manually extracted by street vendors. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 84, n. 0, p. 1–5, 2018.
- SOUZA, P. J. de O. P. de. et al. Diurnal energy balance in a mango orchard in the northeast of Pará, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 3, p. 537–546, 2018.
- VIGLIAR, R.; SDEPANIAN, V. L.; FAGUNDES-NETO, U. Perfil bioquímico da água de coco de coqueiros de região não litorânea. **Jornal de Pediatria**, v. 82, n. 4, 2006.

CAPÍTULO 1 – EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTES DE CULTIVO DO COQUEIRO-ANÃO-VERDE EM SANTA IZABEL DO PARÁ, AMAZÔNIA BRASILEIRA

RESUMO

O coqueiro-anão-verde é uma cultura de grande relevância socioeconômica no Brasil. O manejo inadequado do sistema de irrigação tem comprometido a produtividade e favorecido a degradação e desperdício dos recursos hídricos. Para garantir um manejo eficiente da irrigação e incrementos de produtividade, além de sustentabilidade na utilização dos recursos hídricos e diminuição dos custos de produção, estudos sobre o conhecimento da demanda hídrica do coqueiro são indispensáveis. Objetivou-se determinar a evapotranspiração da cultura (ET_c) e os coeficientes de cultivo simples (K_c) e duplo (K_e e K_{cb}) do coqueiro-anão-verde em Santa Izabel do Pará, Brasil. O experimento foi realizado em um plantio de coqueiro-anão-verde irrigado, na Fazenda Reunidas Sococo, com área de aproximadamente 7 ha e espaçamento 7,5 m x 7,5 m em triângulo, entre os anos de 2020 e 2021. Realizou-se a determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c) pelo método da razão de Bowen, com medições de temperatura e umidade relativa do ar em dois níveis acima do dossel da cultura (0,7 m e 2,1 m) e da evapotranspiração de referência (ET_0) pelo método FAO Penman-Monteith, utilizando dados da estação meteorológica da empresa. O coeficiente de cultivo (K_c) foi determinado pela razão entre ET_c e ET_0 . Para obtenção do coeficiente de evaporação do solo (K_e) e do coeficiente basal da cultura (K_{cb}), foi monitorado a evaporação de água no solo utilizando microlisímetros. A demanda hídrica total do coqueiro foi de 488,88 mm (2020) e 480,09 mm (2021) com média diária de 4,21 mm (2020) 4,14 mm (2021) para a estação seca, correspondente aos meses em que a irrigação foi necessária. Os valores médios de K_c , K_{cb} e K_e foram de 1,1; 0,51 e 0,56, respectivamente. Esses valores demonstram que as condições ambientais influenciam na demanda hídrica do coqueiro e são fundamentais para o correto manejo do sistema de irrigação e para o fornecimento hídrico adequado para a cultura.

PALAVRAS-CHAVE: *Cocos nucifera*. Balanço de Energia. Demanda Hídrica.

CHAPTER 1 – EVAPOTRANSPIRATION AND CROP COEFFICIENTS THE DWARF-GREEN COCONUT IN SANTA IZABEL DO PARÁ, BRAZILIAN AMAZON

ABSTRACT

The green dwarf coconut is a palm of high socioeconomic relevance in Brazil. Inadequate management of the irrigation system has compromised yield and favored the degradation and waste of water resources. To ensure efficient irrigation management, providing yield increases, sustainability in the use of water resources and reduction of production costs, studies about the water demand of coconut palms are indispensable. The objective of this study was to determine the crop evapotranspiration (ET_c) and the simple (K_c) and dual (K_e and K_{cb}) crop coefficients of the irrigation dwarf green coconut in Santa Izabel do Pará, Brazil. The experiment was carried out in coconut plantation at Reunidas Sococo Farm, with an area of approximately 7 ha and spacing 7.5 m x 7.5 m in triangle, between 2020 and 2021. The culture evapotranspiration (ET_c) was determined by the Bowen ratio method, with measurements of temperature and relative humidity at two levels above the crop canopy (0.7 m and 2.1 m) and reference evapotranspiration (ET₀) by the FAO Penman-Monteith method, using data from the company's meteorological station. The coefficient of cultivation (K_c) was determined by the ratio between ET_c and ET₀. To obtain the soil evaporation coefficient (K_e) and the basal crop coefficient (K_{cb}), water evaporation in the soil was monitored using microlysimeters. The total water demand of the coconut palm was 488.88 mm (2020) and 480.09 mm (2021) with a daily average of 4.21 mm (2020) 4.14 mm (2021) for the less rainy season, corresponding to the months in which irrigation was necessary. The mean values of K_c, K_{cb} and K_e were 1.1; 0.51 and 0.56, respectively. These values demonstrate that environmental conditions influence the water demand of coconut palm and are fundamental for the correct management of the irrigation system and for the adequate water supply for the crop.

KEYWORDS: *Cocos nucifera*. Energy Balance. Water Demand.

INTRODUÇÃO

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é uma palmeira de elevada importância socioeconômica, devido a ampla variedade de produtos e subprodutos derivados, principalmente para os países tropicais que apresentam condições de clima e solo favoráveis ao seu cultivo, contribuindo para geração de emprego e renda (KUMAR et al., 2021; SOUSA et al., 2011).

No Brasil, apesar do Nordeste ser a principal região produtora, seu cultivo tem alcançado grande expressão econômica em outras regiões, como na região Norte, decorrente da crescente demanda pela produção de coco-verde (MIRANDA et al., 2019; SANTOS et al., 2020). O Pará é o maior produtor dessa região, apresentando em 2020 produção em torno de 189,6 milhões de frutos e rendimento médio de 9,9 mil frutos ha⁻¹ (IBGE, 2022).

Por apresentar maiores taxas de transpiração, o coqueiro-anão também é mais suscetível ao déficit hídrico em relação às outras variedades de coqueiro (CINTRA et al., 2009) e, nessas condições, tende a diminuir a emissão de folhas, flores e promover a redução e queda prematura dos frutos, acarretando em baixa produtividade (ARAÚJO et al., 2022; CÂMARA et al., 2019) uma vez que água é essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Assim, a irrigação tem sido utilizada como alternativa para minimizar esses efeitos e permitir a expansão do seu cultivo em regiões com déficit hídrico sazonal (MARINHO et al., 2006; SANTOS et al., 2020) durante períodos em que a demanda hídrica não é suprida por eventos de chuva.

Embora a utilização da irrigação seja imprescindível à intensificação agrícola, contribuindo para o aumento de produtividade, sobretudo em locais onde a distribuição das chuvas é irregular (SANTOS et al., 2020; RADIN; SCHÖNHOFEN; TAZZO, 2018), o uso inadequado dos recursos hídricos tem favorecido a sua degradação, desperdício e perda de qualidade (FITO; HULE, 2021).

O conhecimento da evapotranspiração máxima do coqueiro (ET_c) assim como do seu coeficiente de cultivo (K_c) são indispensáveis para o correto manejo da irrigação, visto que o consumo hídrico das culturas varia em função de suas características fenológicas, da demanda atmosférica e da disponibilidade de água no solo (ABDELKHALIK et al., 2020).

Apesar de alguns estudos sobre a demanda hídrica do coqueiro terem sido desenvolvidos no país e existirem valores de coeficiente de cultivo (K_c) na literatura como o de 0,9 (SOUSA et al., 2011) e 1,0 (MIRANDA et al., 2007), a determinação do K_c deve ser realizada para cada localidade e cultura estudada, não podendo ser usado universalmente, uma vez que existem diferenças nas características tanto de clima, como de uma cultura para outra, que podem influenciar nos valores desse coeficiente (PEREIRA et al., 2015; ALVES et al., 2017).

Além disso, o desmembramento do K_c em dois outros coeficientes (K_{cb} e K_e), em que um corresponde a evaporação do solo (K_e) e o outro a transpiração da planta (K_{cb}), permite identificar as reais necessidades hídricas da cultura, sem as contribuições do solo, auxiliando no fornecimento eficiente de água para essa palmeira (SANTOS et al., 2020; ALLEN et al., 1998). O coeficiente duplo é mais expressivo do que o K_c , por ser possível identificar qual dos processos (transpiração ou evaporação) está ocorrendo de forma mais intensa bem como determinar a produtividade da água de maneira precisa, uma vez que o rendimento da cultura está atrelado ao K_{cb} ao invés do K_e (PEREIRA et al., 2015).

Existem várias técnicas para determinar a evapotranspiração de uma cultura, entre elas estão a de lisimetria (XU et al., 2018; SOUSA et al., 2011), balanço hídrico (ABDELHALIK et al., 2020; MIRANDA et al., 2007), covariância de vórtices turbulentos (ORTEGA-FARIAS; POBLETE-ECHEVERRÍA; BRISSON, 2010) e balanço de energia - razão de Bowen (SOUSA et al., 2021; MARTINS et al., 2022), sendo este último um dos mais utilizados para estimar a ET_c por ser mais prático e menos oneroso (LIMA et al., 2011) e, ainda assim, apresentar precisão e confiabilidade nos resultados (BILLESBACH; ARKEBAUER, 2012; DICKEN; COHEN; TANNY, 2013).

Logo, estudos que possibilitem o conhecimento da demanda hídrica do coqueiro em outras regiões produtoras são fundamentais para fornecer informações necessárias ao manejo eficiente do sistema de irrigação e o fornecimento de água nem acima ou abaixo da quantidade ideal, para garantir o uso sustentável dos recursos hídricos e a redução do prejuízo financeiro.

O objetivo desse estudo foi determinar a evapotranspiração máxima da cultura (ET_c) e os coeficientes de cultivo simples (K_c) e duplo (K_e e K_{cb}) do coqueiro-anão-verde irrigado em um cultivo comercial no município de Santa Izabel do Pará.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido na Fazenda Reunidas Sococo, no município de Santa Izabel do Pará (01° 13' 40,16" S e 48° 02' 54,35" W), em um plantio comercial de coqueiro-anão-verde com aproximadamente 7 ha, no período de agosto de 2020 a dezembro de 2021 (Figura 1.1).

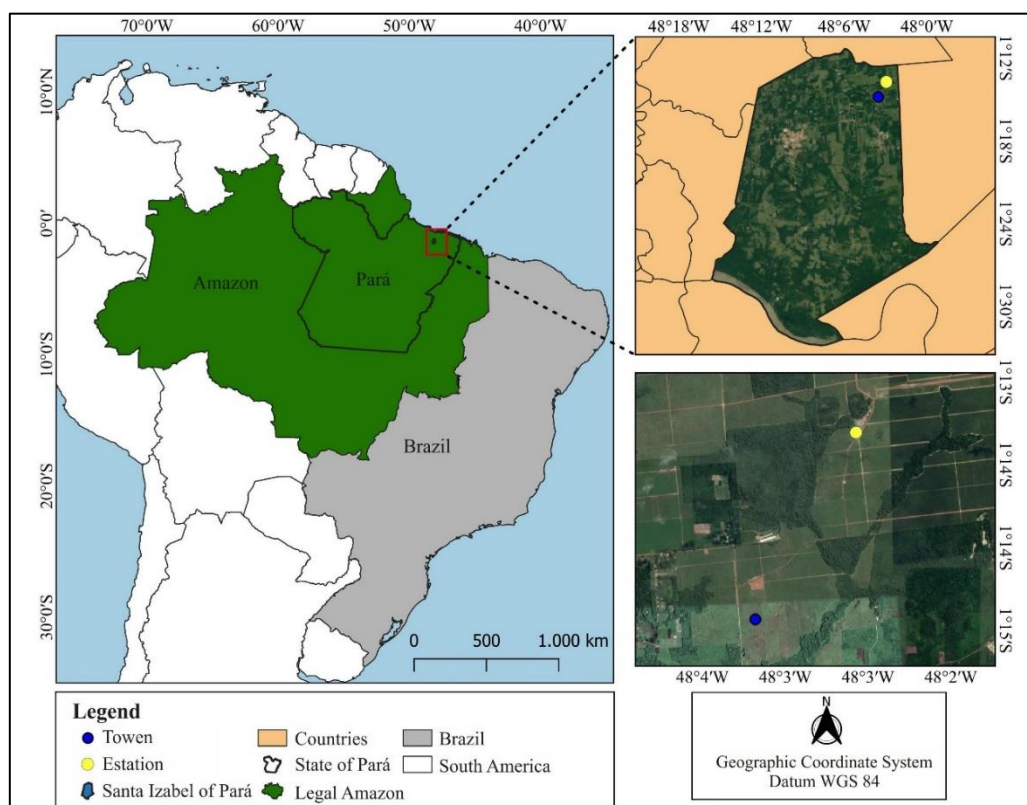


Figura 1.1 – Área Experimental, Santa Izabel do Pará

As plantas da área experimental apresentavam sete anos de idade, uma altura média de 7,30 m, área da copa de 45,16 m² e densidade de plantio de 7,5 m x 7,5 m em triângulo equilátero (205 planta ha⁻¹), correspondendo ao terceiro (2020) e quarto (2021) ano de produção. A cultivar utilizada foi a anão-verde-do-brasil-de-jiqui (AVeBrJ). A cobertura vegetal do solo é a puerária (*Pueraria phaseoloides*), uma leguminosa herbácea perene, a qual foi introduzida desde o início do plantio, simultaneamente com o coqueiral (Figura 1.2).

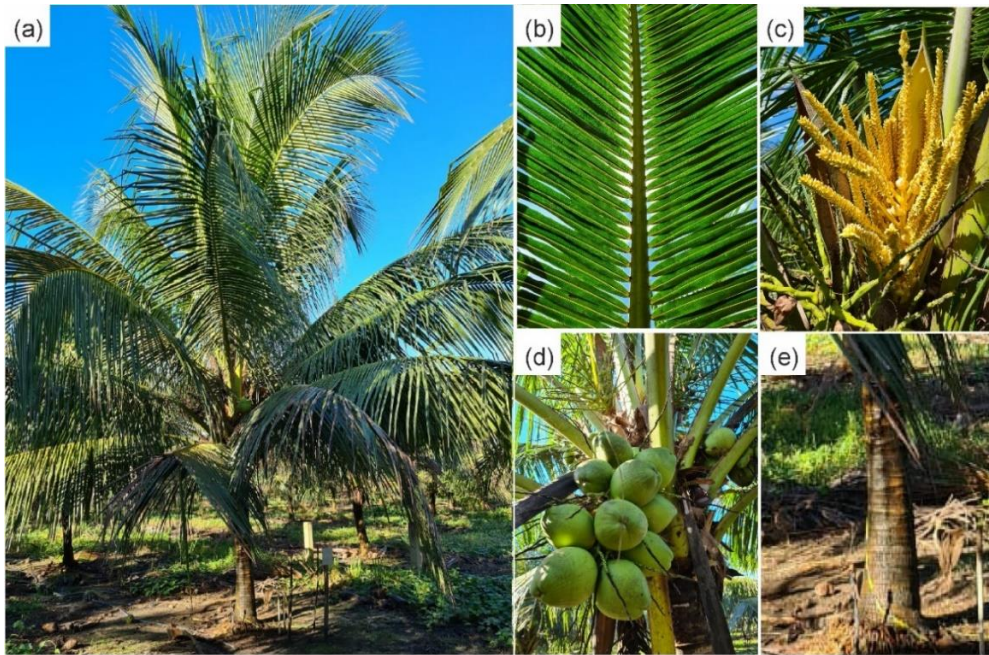


Figura 1.2 – Componentes botânicos do (a) coqueiro-anão-verde, (b) folha, (c) inflorescência, (d) fruto e (e) estipe

De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima da região é caracterizado como tropical úmido, com subtipo climático “Am” (Figura 1.3). Apresentando estação seca moderada e precipitação pluviométrica anual acima de 2.000 mm, temperatura média do ar anual de aproximadamente 26 °C e umidade relativa do ar em torno de 80% (ALVARES et al., 2013).

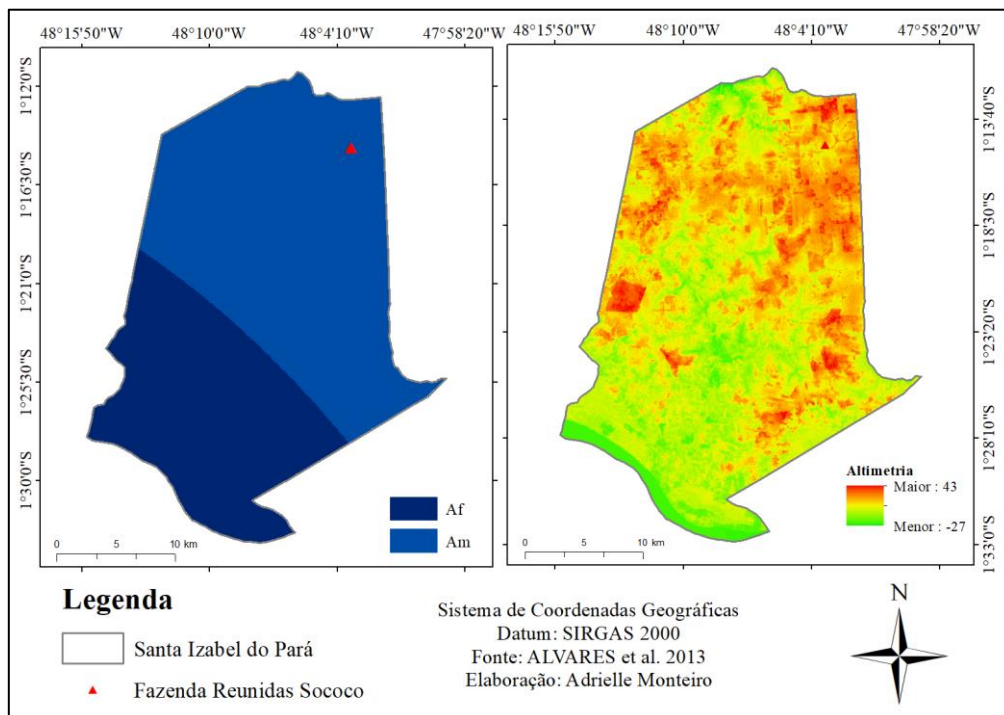


Figura 1.3 – Caracterização climática das regiões de acordo com Köppen-Geiger

O período de dezembro a julho é considerado como chuvoso e o de agosto a novembro como o seco (Figura 1.4), com períodos com precipitação pluviométrica mensal abaixo de 130 mm (agosto a novembro), sendo prejudiciais para a cultura (SOUZA et al., 2017; PASSOS et al., 2018).

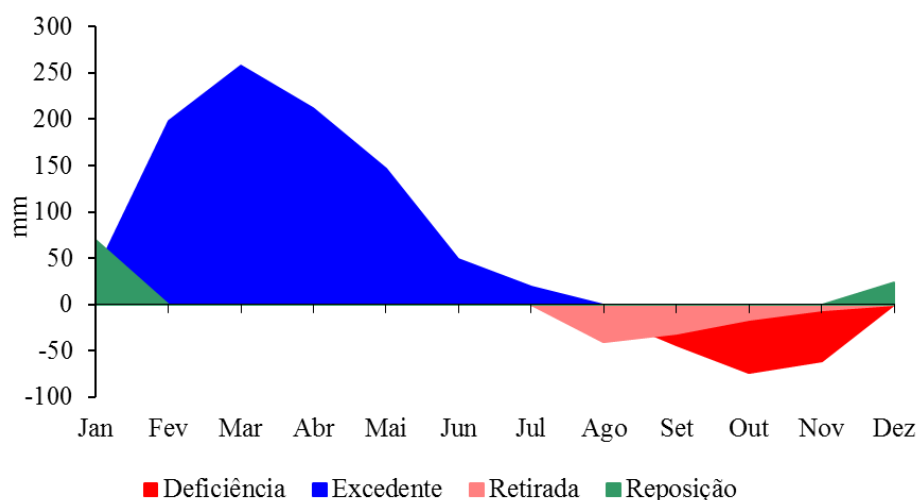


Figura 1.4 – Balanço hídrico climatológico, de acordo com dados do INMET, em Castanhal-PA, no período de 2003 a 2021

O solo da área é classificado como Neossolo Quartzarênico de textura franco-arenosa (EMBRAPA, 2018) e suas características são apresentadas na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Caracterização físico-química e hídrica do solo da área experimental para o ano de 2020

Características	Profundidade (cm)	
	0-20	20-40
pH (CaCl ₂)	4,43	4,10
Matéria Orgânica (g dm ³)	8,75	3,25
Carbono Orgânico (g dm ³)	5,00	2,00
P (mg dm ³)	111,92	7,05
Ca ⁺² (mmol _c dm ³)	10,7	4,00
Mg ⁺² (mmol _c dm ³)	5,50	2,30
K ⁺ (mmol _c dm ³)	2,10	0,90
H ⁺ + Al ⁺³ (mmol _c dm ³)	33,7	32,7
Capacidade de troca catiônica (mmol _c dm ³)	52,5	40,10
Saturação por bases (%)	34,85	17,95
Saturação por Al (%)	6,48	31,76
Areia (%)	70	-
Silte (%)	12	-
Argila (%)	18	-
Capacidade de campo (m ³ m ⁻³)	0,195	-
Ponto de murcha permanente (m ³ m ⁻³)	0,098	-

As plantas foram adubadas com 3,3kg da formulação NPK (10-07-20 + 1,0% de magnésio + 5,5% de enxofre + 3,5% de cálcio e 0,10% de boro + 0,11% de manganês), sendo realizada duas vezes ao ano. Durante o período experimental foram mantidos todos os procedimentos de manejo adotados pela empresa, como: capinas, controle de pragas e doenças.

Sistema de irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi o de microaspersão, com um emissor por planta, autocompensante e com vazão de 96 L h^{-1} , posicionado a 1 m da base do estipe e apresentando coeficiente de uniformidade de 96%, uma eficiência de aplicação de 86%, diâmetro molhado de 3 m e 60% de fração da superfície do solo molhada. O manejo foi realizado com base na evapotranspiração de referência (ET_0) estimado pelo método de Penman-Monteith parametrizado por Allen et al. (1998) no boletim 56 da FAO (Food and Agriculture Organization) de irrigação e drenagem (FAO-56) com os dados da estação meteorológica da empresa, instalada a cerca de 2 km da área experimental, com turno de rega fixo de 2 dias, repondo 100% da ET_0 .

Instrumentação da torre e coleta de dados

Para a coleta de dados necessários para a determinação da ET_c pelo método da razão de Bowen, foi instalada na área experimental uma torre metálica com 12 m de altura e instrumentada com os sensores apresentados na Tabela 1.2, obedecendo as exigências mínimas de bordadura (“fetch”), com razão superior a 1:100, para que não houvesse influência de efeitos advectivos e as medidas fossem representativas da área de estudo.

A torre foi instrumentada com os sensores de radiação global incidente (0,4 m acima do dossel – CMP3, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA), saldo de radiação (2,4 m acima do dossel – NR-LITE2, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA), velocidade e direção do vento (2,2 m acima do dossel – 05106, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA), precipitação pluviométrica (2,3 m acima do dossel – TB4, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA), temperatura e umidade relativa do ar (0,7 e 2,1 m acima do dossel – MeteoTemp, Barani Design Technologies, USA), umidade do solo (0-0,3 m de profundidade – CS615, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA) e fluxo de calor no solo (0,08 m de profundidade – HFP01SC, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA) na linha e entrelinha.

Os sensores foram conectados a dois sistemas de aquisição e armazenamento de dados (Datalogger CR1000 e CR10x, Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, EUA) e a um

multiplexador (AM416, Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, EUA) programado para efetuar leituras instantâneas a cada 30 segundos e gravação de médias e totais a cada 20 minutos.

Balço de Energia – Razão de Bowen

O método da Razão de Bowen é baseado no princípio de conservação de energia e a determinação dos seus componentes foi obtida de acordo com a seguinte expressão simplificada (SOUZA et al., 2018):

$$R_n = LE + H + G \quad (1)$$

em que, R_n é o saldo de radiação, LE é o fluxo de calor latente, H é o fluxo de calor sensível e G é o fluxo de calor no solo. Todos os termos da Eq. 1 foram expressos em $W m^{-2}$.

O calor armazenado na camada de solo acima dos níveis dos fluxímetros foi estimado conforme (BORGES et al., 2008).

$$G = G_p + \frac{\Delta T_s C_s Z_r}{t} \quad (2)$$

em que, G_p é o fluxo de calor no solo medido pelo fluxímetro ($W m^{-2}$), ΔT_s é a diferença média da temperatura do solo ($^{\circ}C$) durante o período de medição, Z_r é a profundidade do fluxímetro (m), t é o intervalo da medição em minutos e C_s é a capacidade calorífica volumétrica do solo ($J kg^{-1} K^{-1}$) obtido pela expressão:

$$C_s = \rho_s (C_{sd} + C_{sw} \theta_v) \quad (3)$$

em que, ρ_s é a densidade do solo ($g cm^{-3}$), C_{sd} é o calor específico do solo seco ($J kg^{-1} K^{-1}$), C_{sw} é o calor específico da água no solo ($J kg^{-1} K^{-1}$) e θ_v é a umidade do solo ($cm^{-3} cm^{-3}$).

A razão de Bowen (β) foi obtido através da Eq. 4:

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{\rho_a c_p}{\rho_a \lambda} \left(\frac{K_h}{K_w} \right) \frac{\Delta T / \Delta z}{\Delta e / \Delta z} \quad (4)$$

Considerando-se a igualdade entre os coeficientes de difusividade turbulenta K_h e K_w a Eq. 4 é simplificada para:

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (5)$$

em que, $\Delta T = T_{0,7} - T_{2,1}$ e $\Delta e = e_{0,7} - e_{2,1}$ são as diferenças entre os dois níveis de temperatura do ar e pressão de vapor d'água na camada acima do dossel do coqueiro, respectivamente e γ é o coeficiente psicrométrico ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), dada por:

$$\gamma = \frac{C_p P_a}{0,622\lambda} \quad (6)$$

em que, C_p é o calor específico do ar a pressão constante ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$), P_a é a pressão atmosférica (kPa) e λ é o calor latente de vaporização (J kg^{-1}).

O fluxo de calor latente (LE) foi obtido pela substituição da razão de Bowen ($H = LE\beta$) na Eq. 1, ou seja:

$$LE = \frac{R_n + G}{1 + \beta} \quad (7)$$

O fluxo de calor sensível (H) foi obtido como resíduo da Eq. 1, ou seja:

$$H = R_n - LE - G \quad (8)$$

Critérios para rejeição dos dados inconsistentes

Para rejeitar os valores inconsistentes, os dados foram submetidos aos critérios estabelecidos por Perez et al. (1999). Estes critérios estão relacionados aos valores fora dos limites da resolução dos sensores e as medidas de H e LE que devem ser consistentes com a relação fluxo-gradiente (Tabela 1.3).

Tabela 1.2 – Limites de aceitabilidade dos valores obtidos pelo método da razão de Bowen

Energia disponível	Gradiente de pressão de vapor	Razão de Bowen	Fluxos de calor
$R_n - G > 0$	$\Delta e > 0$	$\beta > -1$	$LE > 0$ e $H \leq 0$ para $-1 < \beta \leq 0$ ou $H > 0$ para $\beta > 0$
	$\Delta e < 0$	$\beta < -1$	$LE < 0$ e $H > 0$
$R_n - G < 0$	$\Delta e > 0$	$\beta < -1$	$LE > 0$ e $H < 0$
	$\Delta e < 0$	$\beta > -1$	$LE < 0$ e $H \geq 0$ para $-1 < \beta \leq 0$ ou $H < 0$ para $\beta > 0$

Fonte: Perez et al. (1999).

Quando essas condições não forem atendidas, o método fornece um sentido incorreto para os fluxos, resultando em erros e no descarte dos dados. Esses erros geralmente ocorrem no início da manhã ou final da tarde, durante a precipitação ou irrigação, em decorrência da inversão dos sinais e/ou da homogeneidade na atmosfera próxima ao dossel vegetal que reduz o gradiente vertical das variáveis monitoradas (TEIXEIRA; BASTIANSSEN, 2010).

Além disso, os valores de β próximos a -1 foram rejeitados, de acordo com a precisão considerada para o presente estudo, as quais foram de 0,2 °C para temperatura do ar e de 0,03 kPa para pressão parcial de vapor (obtida através da umidade relativa do ar), uma vez que incorrem em uma inconsistência física. Para definição do intervalo próximo a -1 a ser excluído, o erro foi obtido por meio da Eq. 9:

$$\varepsilon = \frac{\delta\Delta e - \gamma\delta\Delta T}{\Delta e} \quad (9)$$

em que:

$\delta\Delta e$ e $\delta\Delta T$ correspondem, respectivamente, aos erros instrumentais no gradiente vertical de pressão de vapor e de temperatura do ar; λ é o calor latente de vaporização ($J\ kg^{-1}$) e Δe é o gradiente vertical de pressão de vapor.

Após o controle de qualidade, pela rejeição dos dados inconsistentes, foi realizado um preenchimento de falhas, por meio da correlação entre $H+LE$ com R_n-G (SOUSA et al., 2021).

Evapotranspiração da cultura

Para determinação da evapotranspiração do coqueiro (ET_c) foram considerados apenas os valores positivos de LE , entre os horários 6:00 às 18:00 ($R_n - G > 0$). A ET_c foi estimada de acordo com a Eq. 10:

$$ET_c = \frac{LE}{\lambda} \quad (10)$$

em que, ET_c é a evapotranspiração da cultura ($mm\ dia^{-1}$); LE é o fluxo de calor latente no intervalo de 20 minutos ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$) e λ é o calor latente de vaporização ($J\ kg^{-1}$).

Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência (ET_0) foi determinada segundo recomendações da FAO, usando a equação de Penman-Monteith parametrizado por Allen et al. (1998). Os dados utilizados foram obtidos da estação meteorológica automática localizada na empresa, segundo a Eq. 11:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma\left(\frac{900U_2}{T_{ar} + 273}\right)(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (11)$$

em que, ET_0 é a evapotranspiração de referência ($mm\ d^{-1}$); R_n é o saldo de radiação ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$); T_{ar} é a temperatura média do ar ($^{\circ}C$); U_2 é a velocidade do vento ($m\ s^{-1}$); e_s é a pressão de saturação de vapor (kPa); e_a é a

pressão de vapor do ar (kPa); Δ é a declinação da curva de saturação do vapor da água à temperatura do ar (kPa °C⁻¹); γ é a constante psicrométrica (kPa °C⁻¹).

Precipitação efetiva

A precipitação efetiva foi determinada diariamente, através do somatório da precipitação interna (Pint) e do escoamento do estipe (Et). A Pint foi mensurada pela relação entre o volume coletado e a área de captação das calhas de PVC (0,2 m²), posicionadas abaixo do dossel. A Et foi obtido pela relação entre o volume total escoado e a área da copa, seguindo a metodologia de Moura et al. (2009). A área da copa foi determinada através da projeção da folha ao solo, trançando-se oito linhas do centro do estipe até as extremidades das folhas, estabelecendo a área total de captação pelo somatório das áreas triangulares geradas Marin et al. (2000).

Evaporação do solo

A evaporação do solo (E) foi determinada através da metodologia de microlisimetria proposta por Flumignan et al. (2012). Foram utilizados 16 microlisímetros distribuídos aleatoriamente na área. Estes foram construídos usando tubo PVC de 100 mm de diâmetro, 150 mm de profundidade e 2,5 mm de espessura. Na parte inferior dos MLs, foi colocado uma tela juntamente com um “tampão” para isolar e evitar a perda do solo no processo de drenagem de água (Figura 1.5).

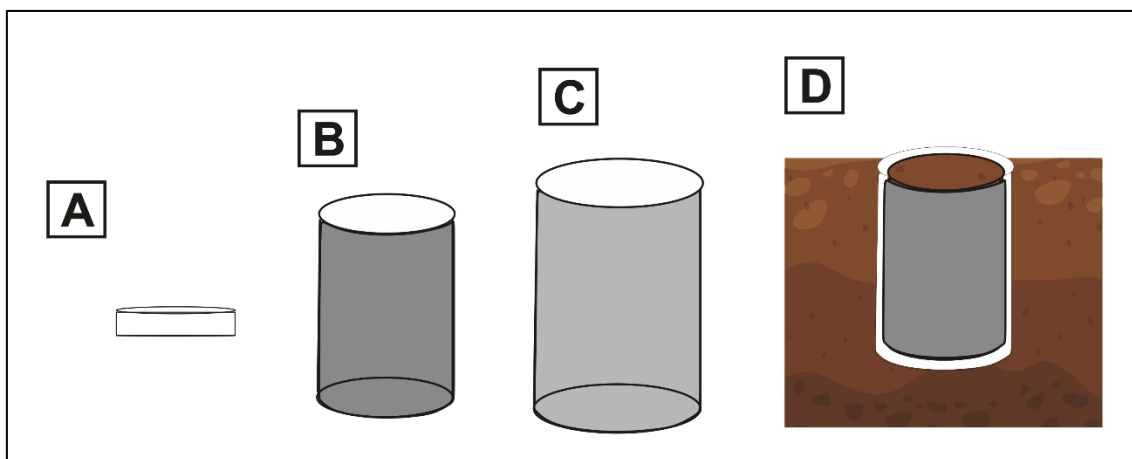


Figura 1.5 – Componentes de um sistema de microlisímetro. (A) é o cap, (B) é o microlisímetro, (C) é o envoltório do microlisímetro e (D) é o microlisímetro instalado no solo

A evaporação do solo foi determinada por meio da diferença de massa do microlisímetro, com auxílio de uma balança de precisão de 0,01 g, sendo a massa de água perdida determinada através da Eq. 12.

$$E_{ML} = \frac{\Delta M_{ML}}{A_{ML}} + P + I \quad (12)$$

em que, E é a evaporação da água do solo (mm d^{-1}); ΔM_{ML} é a variação da massa do microlisímetro (kg); P é a precipitação efetiva do período (mm); I é a irrigação no período (mm) e AML é a área da superfície do microlisímetro (m^2) com valor de $0,00785 \text{ m}^2$.

Coefficientes de cultura simples e duplo do coqueiro-anão

Com a determinação da ET_c e da ET_0 , obteve-se o coeficiente de cultura simples (K_c) conforme a Eq. 13:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (13)$$

Após isso, determinou-se os coeficientes de evaporação (K_e) e de cultivo basal (K_{cb}), utilizando os valores ET_c , ET_0 e E, através das Eq. 14 e 15, respectivamente.

$$K_e = \frac{E}{ET_0} \quad (14)$$

$$K_{cb} = \frac{ET_c}{ET_0} - K_e \quad (15)$$

Monitoramento fenológico

Foram selecionadas e demarcadas, de forma aleatória, vinte e quatro plantas de coqueiro-anão-verde em um pomar homogêneo. As observações fenológicas foram realizadas quinzenalmente, durante o período de agosto/2020 a dezembro/2021, analisando o número de folhas e cachos vivos.

Produtividade de frutos e água de coco

Foram monitoradas, aleatoriamente, vinte plantas, com sete anos de idade e no quinto ano de produção. A cada 21 dias, durante o período de agosto/2020 a dezembro/2021, dois frutos de cada cacho colhido eram selecionados e transportados ao laboratório da empresa Sococo para as avaliações biométricas, de acordo com a metodologia adaptada de Benassi et al. (2007), cujas hastes eram retiradas e os frutos higienizados. Após isso, a massa do fruto era determinada em uma balança digital com precisão de 0,01 grama, e posteriormente, estes eram perfurados para retirada e mensuração do albúmen líquido (água-de-coco).

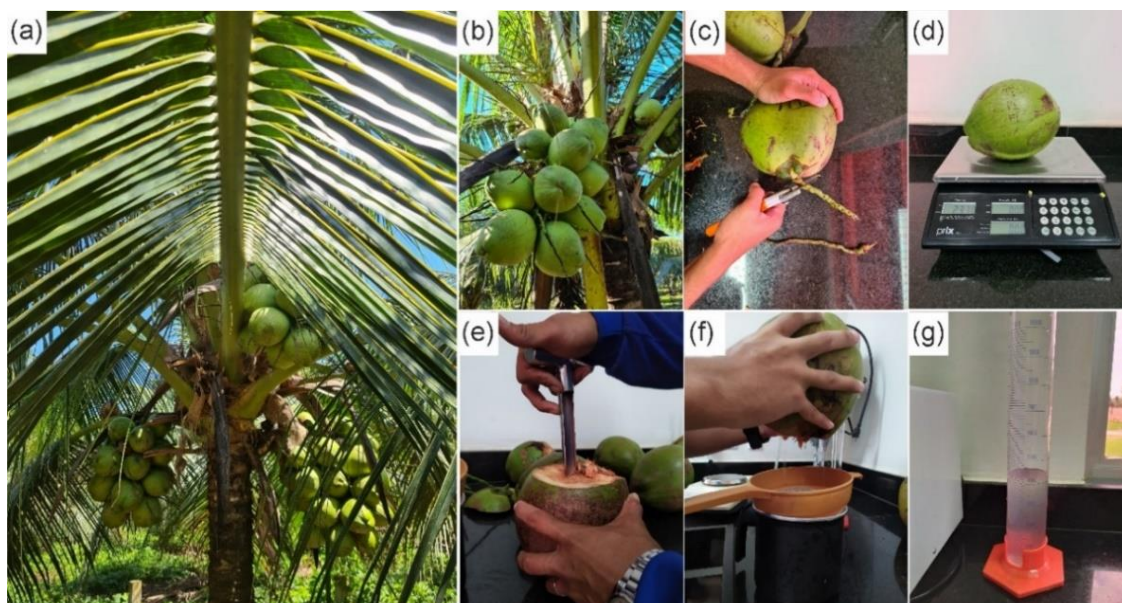


Figura 1.6 – Medição do (a) coqueiro-anão-verde, (b) cacho, (c) fruto, (d) pesagem do fruto, (e) abertura do fruto, (f) retirada da água de coco e (g) volume de água de coco

Análise estatística dos dados

Os dados foram submetidos a análise com base em estatística descritiva utilizando o Software Excel.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o período de agosto a novembro (seco), correspondente aos meses de manejo da irrigação, a radiação solar global (R_g) média foi $18,62 (\pm 3,10) \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ e o saldo de radiação (R_n) médio de $11,94 (\pm 2,21) \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Para o intervalo de dezembro a julho (chuvoso) o valor de R_g foi de $15,34 (\pm 3,53) \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ e o de R_n de $9,40 (\pm 2,69) \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Figura 1.8a). Essa redução de 17,62% no R_g e de 21,27% no R_n , no período de maior volume de chuvas, ocorre pela maior presença de nebulosidade, que promove o espalhamento da radiação, reduzindo a sua incidência na superfície (SOUZA et al., 2018).

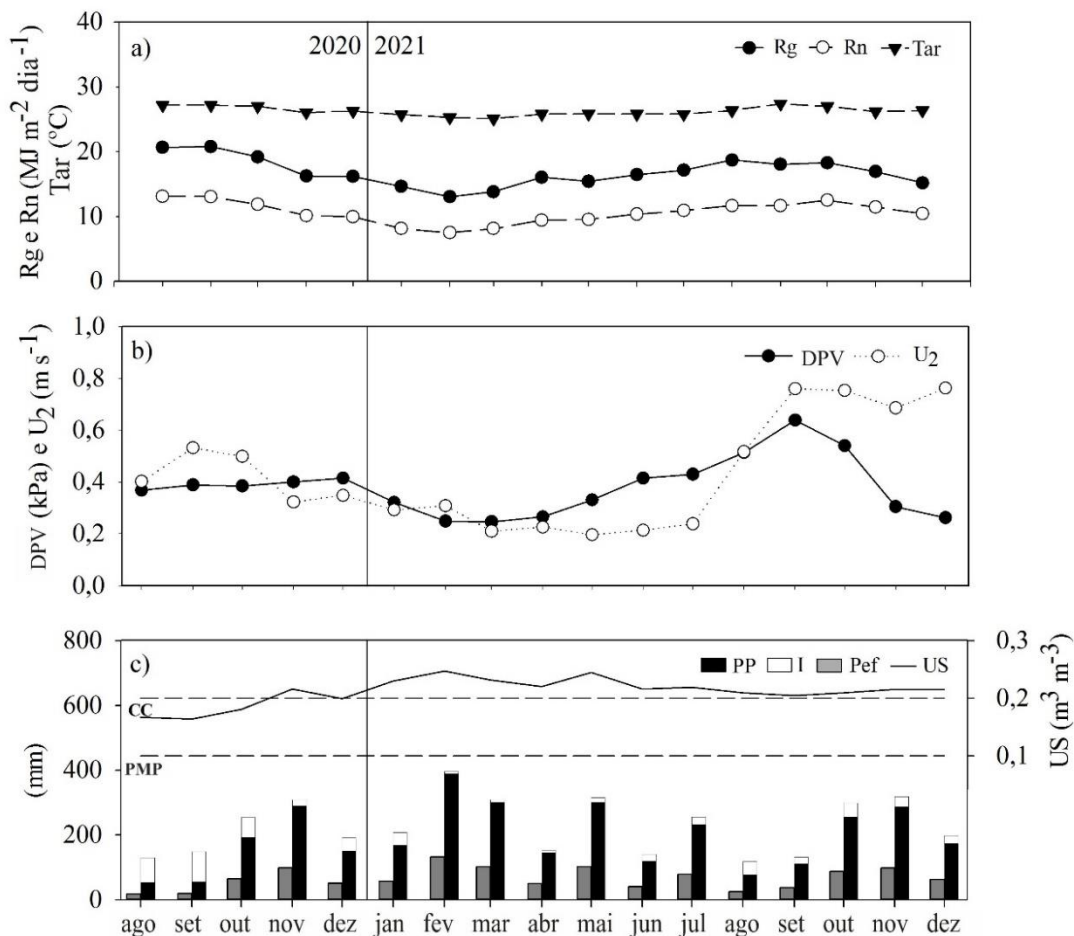


Figura 1.7 – Variação de (a) radiação global incidente (Rg), saldo de radiação (Rn) e temperatura do ar (Tar); (b) déficit de pressão de vapor (DPV) e velocidade do vento (U_2) e (c) precipitação pluviométrica (PP), irrigação (I), precipitação efetiva (Pef) e umidade volumétrica do solo (US), durante o período de agosto de 2020 a dezembro de 2021

A temperatura do ar (T_{ar}) variou pouco ao longo do experimento, com T_{ar} máxima mensal de 27,4 °C (setembro/2021) e mínima de 25,1 °C (março/2021), apresentando um valor médio durante o período seco e chuvoso de 26,8 ($\pm 0,82$) °C e 25,8 ($\pm 0,78$) °C (Figura 1.8a), respectivamente, indicando que a cultura não sofreu limitação térmica, uma vez que a temperatura esteve em torno do valor recomendado (27 °C) para a cultura do coqueiro (PASSOS et al., 2018). A maior temperatura durante a estação seca ocorreu devido ao menor volume de chuvas e do aumento da radiação solar que chega à superfície (ATAIDE et al., 2020).

A velocidade do vento (U_2) apresentou maiores valores na época seca de 0,56 m s⁻¹ ($\pm 0,24$) em comparação a chuvosa que foi de 0,31 m s⁻¹ ($\pm 0,22$), contribuindo com a renovação das massas de ar e com o aumento do déficit de pressão de vapor (DPV), que foi de 0,44 ($\pm 0,17$) e 0,33 ($\pm 0,12$) kPa, respectivamente (Figura 1.8b). O maior DPV atrelado a disponibilidade de água no solo, resulta em maior demanda hídrica pela

atmosfera, aumentando as taxas de evapotranspiração nesse período pelo coqueiro (BRUM et al., 2021).

O experimento sofreu influência do fenômeno climático La Niña, a partir do mês de dezembro de 2020, com intensificação do volume e prolongamento das chuvas (NOAA, 2022; MOREIRA et al., 2018). A precipitação pluviométrica acumulada referente ao período estudado (agosto/2020 a dezembro/2021) foi de 3.317 mm, sendo 60,11% desse total, correspondente ao período de dezembro/2020 a 2021 a julho/2021. O maior evento de chuva ocorreu no mês de fevereiro/2021, apresentando lâmina mensal de 389 mm (Figura 1.8c).

O conteúdo volumétrico de água no solo durante o período seco variou entre 0,164 a 0,216 m³ m⁻³ com os menores valores observados nesta época, enquanto no período de chuvoso, esses valores foram superiores, com variação de 0,199 a 0,247 m³ m⁻³ (Figura 1.8c). Exceto nos meses de agosto a outubro de 2020, a umidade do solo permaneceu acima da capacidade de campo, indicando um bom nível de disponibilidade hídrica para o desenvolvimento do coqueiro.

A precipitação efetiva (Pef) média correspondeu a 34% da precipitação pluviométrica (Figura 1.8c). Em comparação a estudos com espécies florestais, a Pef desse estudo foi menor que o identificado por Tonello et al. (2014) e Paula et al. (2020) ambos com eucalipto, que encontraram 86,2% e 58,82%, respectivamente. A arquitetura da copa do coqueiro teve grande influência na dinâmica da água no ecossistema, uma vez que o maior número e comprimento das folhas contribuíram para uma maior interceptação da água, reduzindo a disponibilidade hídrica efetiva no solo logo abaixo da copa (CÂMARA et al., 2019; PAULA et al., 2020).

Isso mostra a importância em considerar a água que efetivamente incide no solo e que estará disponível para o coqueiro, uma vez que as alterações no conteúdo de água no solo influenciam na absorção de nutrientes e na realização dos processos metabólicos pela planta, e conseqüentemente, na produtividade (SILVA et al., 2017). A identificação da quantidade real de água que chega a superfície do solo também permite um fornecimento adequado de água, para um manejo eficiente do sistema de irrigação, evitando desperdício hídrico e de recursos financeiros (VELASCO-MUÑOZ et al., 2019).

A irrigação foi realizada durante todo o período estudado (Figura 1.8c) sendo muito mais intensiva durante a época de estiagem, onde a correta determinação da ETc se faz necessária. Os valores mensais de lâmina de irrigação aplicados variaram de 6,65 mm mês⁻¹ (abril/2021) a 93,77 mm mês⁻¹ (setembro/2020), com um valor total de 249,37

e 137,30 mm, durante o período de agosto a novembro, nos anos de 2020 e 2021, respectivamente.

A utilização da irrigação ocorreu devido a baixa quantidade de chuvas, principalmente nos meses de agosto e setembro em ambos os anos, não sendo suficiente para suprir a necessidade hídrica do coqueiro sugerida pela literatura como sendo de 130 mm mês⁻¹ (PASSOS et al., 2018), bem como pela sua má distribuição durante cada mês, com intuito de minimizar os possíveis danos a cultura, como morte de folhas, cachos, queda prematura de frutos, que promovem declínio na produtividade (MIRANDA et al., 2019).

O número de folhas vivas variou de 29 a 32, apresentando um valor médio de 30,3 folhas ($\pm 0,94$) (Figura 1.8). Os valores encontrados nesse estudo configuram um bom aspecto vegetativo do coqueiro, além de estarem acima dos valores encontrados na literatura, pois segundo Castro et al. (2009) em condições ambientais favoráveis à sua copa, o coqueiro possui de 25 a 30 folhas, sendo que os autores observaram 18 a 27 folhas vivas. Ferreira Neto et al. (2007) e Câmara et al. (2019) em estudos com coqueiro na região Nordeste contabilizaram uma média de 22,25 e 22,28 folhas, respectivamente.

Da radiação solar incidente (R_g) ao longo de todo o experimento, cerca de 70,5% (2020) a 74,1% (2021) foram convertidos em saldo de radiação (R_n) para ser utilizado nos diversos processos físicos e biofísicos da área, sugerindo que as características da superfície podem ter menor influência no balanço radiativo do que as características da própria atmosfera, a julgar pela regularidade na quantidade de folhas presentes no dossel ao longo do ano (Figura 1.9).

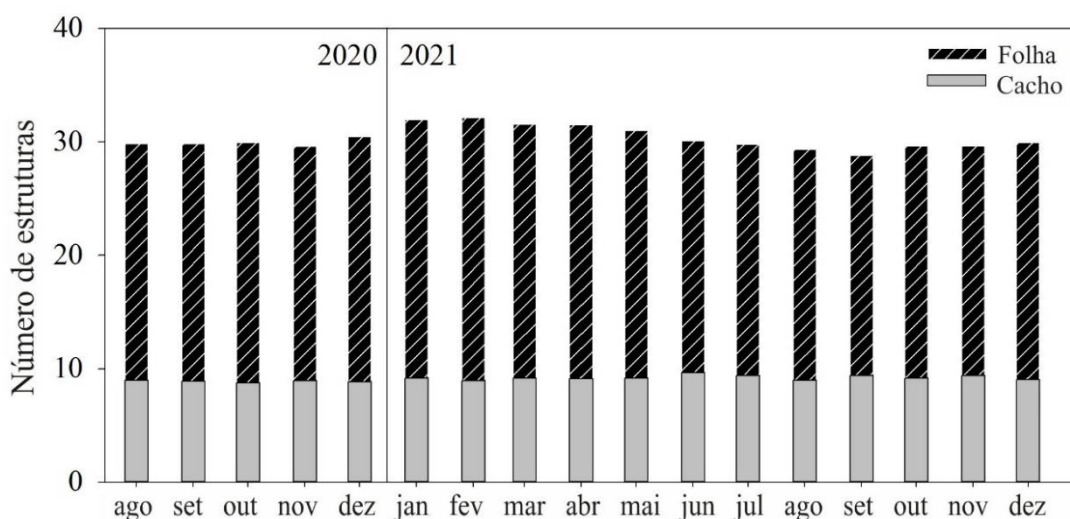


Figura 1.8 – Variação no número de folhas e cachos do coqueiro-anão-verde, durante o período de agosto de 2020 a dezembro de 2021, em Santa Izabel do Pará

O saldo de radiação apresentou pequena variabilidade sazonal (3,6%) de um ano para outro (Figura 1.8a). As mudanças na cobertura de nuvens, em decorrência dos períodos com maior e menor precipitação, podem ter sido a principal causa nas alterações no balanço de radiação influenciando diretamente na variação da energia disponível para a realização dos processos relacionados ao sistema superfície-atmosfera (QUERINO et al., 2017), uma vez que tanto a cobertura do coqueiro como também a disponibilidade hídrica se manteve praticamente uniforme ao longo do tempo (Figura 1.8c e 1.9).

O valor médio de Rn durante o período seco, quando a irrigação se faz necessária, foi de 13,57 ($\pm 2,35$) e de 13,36 ($\pm 2,34$) MJ m⁻² d⁻¹, para os anos de 2020 e 2021, respectivamente (Tabela 1.4). A proporção média do consumo de energia líquida pelos componentes do balanço de energia, também durante o período em que a estimativa correta da ETc é necessária, correspondeu a 76,2% (LE), 20,2% (H) e 3,6% (G) para 2020 e foi de 76,1% (LE), 20,8% (H) e 3,0% (G) para 2021 (Tabela 1.4).

A correção aplicada na estimativa do fluxo de calor no solo com a inclusão do calor armazenado no solo proporcionou aumento de 0,23 MJ m⁻² d⁻¹ no valor médio de cada mês (Tabela 1.4). Essa pequena contribuição pode estar relacionada ao conteúdo de água presente no solo, influenciando na diminuição da temperatura do solo e no calor armazenado (SANTOS; FONTANA; ALVES, 2010).

Tabela 1.3 – Valores médios de saldo de radiação (Rn); do fluxo de calor latente (LE) e do fluxo de calor sensível (H) e do fluxo de calor no solo (G), em MJ m⁻² d⁻¹, durante o período de uso do sistema de irrigação nos anos de 2020 e 2021, em Santa Izabel do Pará

Ano	Meses	Rg	Rn	LE	H	G	Rn/Rg	LE/Rn	H/Rn	G/Rn
2020	Agosto	20,68	14,77	11,32	3,12	0,34	0,71	0,77	0,21	0,02
	Setembro	20,80	14,78	11,26	3,03	0,49	0,71	0,76	0,21	0,03
	Outubro	19,20	13,56	10,17	2,86	0,53	0,71	0,75	0,21	0,04
	Novembro	16,25	11,32	8,72	2,08	0,53	0,69	0,77	0,18	0,05
2021	Agosto	18,73	13,28	10,08	2,91	0,28	0,71	0,76	0,22	0,02
	Setembro	18,07	13,30	10,11	2,75	0,44	0,74	0,76	0,21	0,03
	Outubro	18,31	14,02	10,68	2,85	0,49	0,77	0,76	0,20	0,03
	Novembro	16,95	12,86	9,81	2,62	0,43	0,76	0,76	0,20	0,03

O calor latente (LE) foi o componente que utilizou a maior parte do Rn em relação ao H e G, independente do ano. O LE médio foi de 10,33 ($\pm 1,77$) e de 10,17 ($\pm 1,76$) MJ m⁻² d⁻¹, para os anos de 2020 e 2021, respectivamente. A diferença entre os valores de LE, durante o período seco em ambos os anos, foi mínima (0,16 MJ m⁻² d⁻¹). Apesar do ano de 2021 apresentar volume de chuvas em torno de 22,8% superior ao de 2020, na época seca, o valor de LE foi menor. Isso ocorre por conta da maior cobertura de nuvens, que proporciona a diminuição da radiação solar e, conseqüentemente, da energia líquida

disponível para o particionamento (ATAIDE et al., 2020).

O fluxo de calor sensível (H) médio para o período da irrigação foi de 2,76 ($\pm 0,63$) e 2,78 ($\pm 0,50$) MJ m⁻² d⁻¹ para 2020 e 2021, respectivamente. A baixa variabilidade de H ocorreu em função da elevada disponibilidade de água presente no ambiente, devido ao sistema de irrigação, que contribuiu para a maior utilização da energia disponível na forma de calor latente do que para aquecimento do ar em ambos os anos (SOUZA et al., 2018) como também devido a pouca variabilidade das características da copa (Figura 1.9). O fluxo de calor no solo (G) correspondeu a 0,48 ($\pm 0,12$) MJ m⁻² d⁻¹ (2020) e 0,41 ($\pm 0,17$) MJ m⁻² d⁻¹ (2021). Os elevados conteúdos de umidade do solo nos dois períodos, provocados pelas chuvas e irrigações, reduzem a variabilidade da temperatura do solo e promovem a diminuição da energia disponível para o seu aquecimento (SANTOS; FONTANA; ALVES, 2010).

Durante o período menos chuvoso (agosto a novembro) em ambos os anos, período em que a estimativa da ET_c se torna necessária para um manejo racional na área, os valores diários de evapotranspiração do coqueiro-anão-verde (ET_c) permaneceram acima da evapotranspiração de referência (ET₀). A ET_c média diária para ambos os períodos correspondeu a 4,18 mm ($\pm 0,75$) enquanto a ET₀ média diária correspondenteu a 3,97 ($\pm 0,77$) mm (Figura 1.10).

O consumo real médio de água da área de cultivo do coqueiro, para as condições experimentais durante os quatro meses avaliados nos dois anos, foi de 204,0 L planta⁻¹ dia⁻¹. A ET₀ no mesmo período indicou uma lâmina de 193,7 L planta⁻¹ dia⁻¹, 5,1% inferior, reforçando a importância em se considerar a ET_c para o manejo correto da irrigação, haja vista que o manejo da irrigação com base na ET₀ e a utilização do K_c=1,0, conforme recomendado por Miranda et al. (2007) subestimaria a necessidade hídrica do cultivo de coqueiro-anão-verde no local e sua utilização poderia acarretar em um suprimento inadequado de água disponível para a realização dos processos metabólicos da cultura.

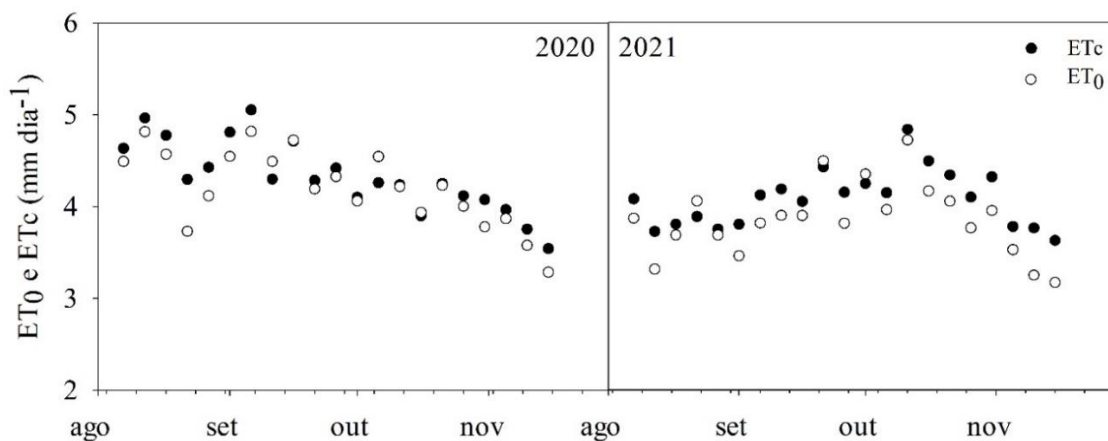


Figura 1.9 – Média diária da evapotranspiração de referência (ET_0) e da evapotranspiração da cultura (ET_c) a cada 5 dias em um plantio irrigado de coqueiro-anão-verde em Santa Izabel do Pará, durante o período de agosto a novembro, dos anos de 2020 e 2021

A evapotranspiração acumulada do agroecossistema no período de agosto a novembro de 2020, foi de 488,88 mm, correspondendo a uma ET_c média de $4,21 (\pm 0,72)$ mm dia⁻¹ (206,9 L planta⁻¹ dia⁻¹), enquanto que a demanda atmosférica considerando uma superfície de referencia (ET_0) totalizou no período cerca 468,68 mm, com uma média de $4,04 (\pm 0,75)$ mm dia⁻¹ (197,2 L planta⁻¹ dia⁻¹). Já em 2021, a demanda hídrica total no mesmo período de uso da irrigação, foi de 480,09 mm, apresentando ET_c média de $4,14 (\pm 0,72)$ mm dia⁻¹ (202,0 L planta⁻¹ dia⁻¹). Considerando apenas a demanda atmosférica sem as características da cultura do coqueiro, o total acumulado de água seria de 449,07 mm, indicando uma ET_0 média de $3,87 (\pm 0,72)$ mm dia⁻¹ (189,9 L planta⁻¹ dia⁻¹) (Figura 1.10).

A ET_c média ($4,18 (\pm 0,72)$ mm dia⁻¹) determinada nesse estudo para a área de cultivo do coqueiro-anão-verde difere dos valores encontrados por outros autores como Sousa et al. (2011) em trabalhos com coqueiro em Sergipe, que apresentou ET_c média de $3,90$ mm dia⁻¹, Miranda et al. (2007) em pesquisas com coqueiro-anão no Ceará, com média de $3,86$ mm dia⁻¹ e Jayakumar et al. (1988) em estudos com coqueiro-gigante na Índia, que encontraram evapotranspiração média de $3,30$ mm dia⁻¹. O uso de diferentes metodologias, características da própria planta, tipo de cobertura abaixo da copa, manejos e tratos culturais adotados como também a própria condição climática podem ter causado tais diferenças.

A pequena diferença no consumo de água pelo coqueiro durante a estação seca observada entre os anos, deve-se a variabilidade natural das condições atmosféricas durante os períodos, uma vez que ao longo do ano o coqueiro permanece praticamente com a mesma estrutura vegetal, apresentando todos os cachos ao mesmo tempo e com

variação mínima no número de folhas (Figura 1.9).

Essa baixa alteração na estrutura do dossel vegetativo corrobora a hipótese de que a vegetação de coqueiro-anão-verde apresenta baixa sazonalidade na sua evapotranspiração, sendo a mesma dependente muito mais da disponibilidade energética do que da própria planta, pois em áreas onde a umidade presente no solo é favorável para a cultura, a variação na condutância estomática é pequena e a radiação solar passa a ser o principal agente controlador das perdas de água, diferindo do que ocorre em locais onde a quantidade de água disponível a cultura é limitada (SILVA et al., 2021; DE SOUZA et al., 2019).

Marques et al. (2020) em estudos em florestas tropicais observaram que em ambientes de baixa disponibilidade hídrica a condutância estomática é quem controla a evapotranspiração. Silva et al. (2021) estudando o comportamento da evapotranspiração nas florestas inundadas, afirmaram que a vegetação apresentou fraco acoplamento com a atmosfera, o que indica que a evapotranspiração é mais dependente do saldo de radiação.

Estudos realizados com outras frutíferas na região amazônica indicam que devido a disponibilidade hídrica na região, a vegetação praticamente atua de forma desacoplada da atmosfera, sendo, portanto, a disponibilidade energética um dos principais fatores responsáveis pelas trocas gasosas sob tais condições. Sousa et al. (2021) constataram um estado de desacoplamento do açazeiro com a atmosfera, onde os valores de evapotranspiração foram influenciados prioritariamente pelo radiação solar na região.

O coeficiente de cultura (K_c) apresentou pequena variabilidade ao longo do tempo (Figura 1.11). O valor médio de K_c encontrado durante o período considerado para o estudo foi correspondente a 1,1 ($\pm 0,12$). Esse valor diferencia-se do recomendado por Allen et al. (1998) para palmeiras em geral ($K_c=1,0$), do encontrado por Miranda et al. (2007) em estudos com coqueiro-anão-verde irrigado no Ceará, no terceiro ano de produção ($K_c=1,0$), do obtido por Souza et al. (2011) para coqueiro-anão em Sergipe ($K_c=0,90$) e do utilizado por Surendran et al. (2019) para coqueiro-gigante na Índia ($K_c=0,75$). Tais diferenças ocorrem justamente em razão dos elevados valores de E_{Tc} encontrados, o que promove o aumento do K_c .

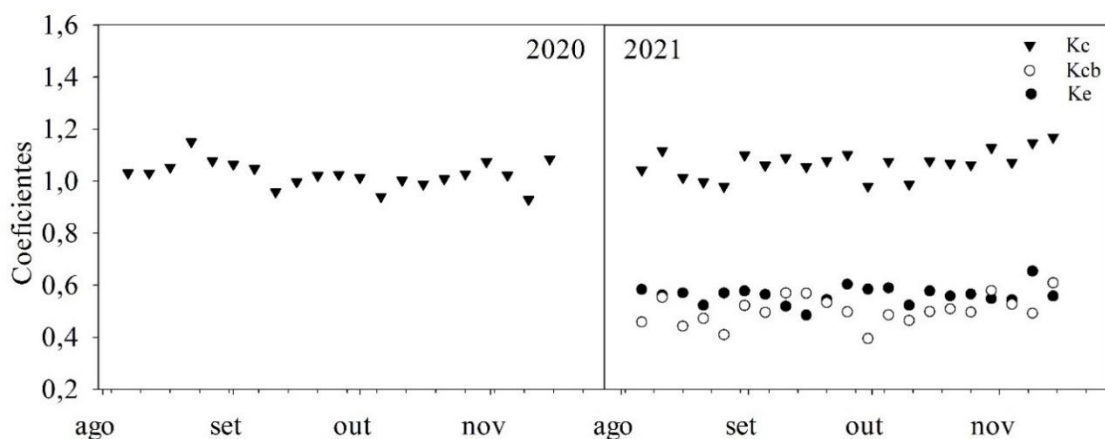


Figura 1.10 – Curva de coeficiente de cultura (K_c), coeficiente de evaporação (K_e) e coeficiente de cultura basal (K_{cb}) do coqueiro-anão-verde, durante o período de agosto a novembro, dos anos de 2020 e 2021

As condições edafoclimáticas de cada região, as variações dos elementos meteorológicos ao longo dos anos e o ecossistema local tem grande influência na evapotranspiração de uma cultura e conseqüentemente no seu coeficiente de cultivo (ARAÚJO et al., 2022). As lâminas de irrigação associadas à frequência de chuvas, como também à vegetação presente na entrelinha, contribuem com o prolongamento ao nível de umidade no solo, potencializando a E_{Tc} e favorecendo um maior K_c (SEVA; PASCUAL, 2021).

Segundo Allen et al. (1998), locais onde o solo permanece úmido por mais tempo o K_c pode ultrapassar o valor unitário, devido a maior evaporação, isso enfatiza a importância da determinação do K_c para cada condição de cultivo, devido a sua especificidade, como também a necessidade de diferenciar os processos de perda que estão ocorrendo no ambiente, tanto por evaporação e principalmente por transpiração.

Não houve determinação da evaporação do solo no ano de 2020 por motivos técnicos, o que impossibilitou a obtenção dos valores de K_e e K_{cb} para este ano, sendo os mesmos estabelecidos apenas para o ano de 2021. Percebe-se que a variabilidade na evaporação do solo é dependente das condições atmosféricas uma vez que ao longo de todo o experimento a área sempre esteve suprida de água, seja por eventos de chuva ou devido ao sistema de irrigação, respondendo unicamente à demanda atmosférica, independentemente de onde esteja ocorrendo, seja abaixo da copa ou entre as linhas de plantio (Figura 1.12).

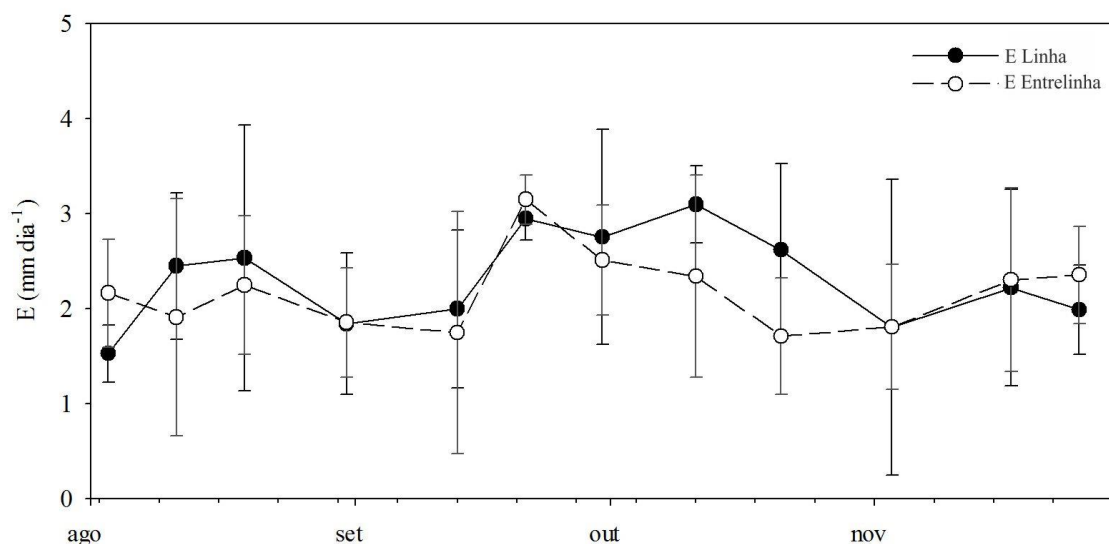


Figura 1.11 – Evaporação da linha e entrelinha do coqueiro-anão-verde nas condições meteorológicas de Santa Izabel do Pará, durante o período de agosto a novembro de 2020

A evaporação média da linha e da entrelinha, durante o período seco (agosto a novembro de 2021), correspondeu a $2,36 (\pm 0,84)$ e $2,15 (\pm 0,79)$ mm d⁻¹, respectivamente (Figura 1.12), os quais mantiveram-se elevados devido a elevada umidade no solo (FLUMIGNAN et al., 2009). Apesar da presença da cobertura vegetal (puerária), que contribui para a manutenção da água no solo, a área não apresenta um fechamento completo da superfície, colaborando com uma maior exposição do solo à radiação solar, que diminui a resistência da superfície às perdas de água disponível no solo por evaporação como também com a perda de água através de sua transpiração (FARIA JUNIOR et al., 2019; FENNER et al. 2016), que infelizmente não foi monitorada.

O valor médio de K_e encontrado foi de $0,56 (\pm 0,09)$, variando entre 0,26 e 0,79 (Figura 1.11). A evaporação do solo (K_e) apresentou valores acima da transpiração da planta (K_{cb}) durante a maior parte do período. Tal acontecimento deve-se ao excesso de água, pois em ambientes onde a disponibilidade hídrica é alta e não há uma cobertura eficiente do solo, a evaporação tende a comandar a transferência de água para a atmosfera, sendo o principal contribuinte da ET (SILVA et al., 2020). Estudos desenvolvidos por Fenner et al. (2016) também demonstraram que as altas taxas de umidade presente na superfície do solo tendem a aumentar os valores de K_e em até 1,2.

Por outro lado, a ausência da determinação do escoamento superficial, caracterizado como a água proveniente das chuvas que não infiltrou no solo (RODRIGUES; BITTENCOURT; FERNANDES, 2017), pode ter proporcionado uma superestimativa dos valores de K_e , representando mais da metade da evapotranspiração, decorrente do encharcamento do solo, devido a água excessiva considerada no sistema,

conforme metodologia de Flumingnan et al. (2012). Em estudos com evaporação para oliveiras, Puppo et al. (2019) perceberam que o excesso de água disponível na área contribuiu para elevados valores de Ke. Estudos futuros envolvendo o dimensionamento do escoamento superficial na área poderão explicitar melhor a contribuição efetiva do Ke dentro do Kc do coqueiro-anão-verde na região.

Em relação ao coeficiente basal (Kcb) encontrou-se valor médio de 0,51 ($\pm 0,13$), variando entre 0,25 e 0,81 (Figura 1.11). O nível adequado de umidade no solo durante o experimento pode ter favorecido o aumento da condutância estomática e da transpiração, promovendo a absorção de água e nutrientes pelo coqueiro (SANTOS et al., 2020), garantindo valores acima de 0,50. Brum et al. (2021) em pesquisas com palma de óleo comprovaram o aumento da transpiração com a manutenção da irrigação por gotejamento mesmo durante o ENOS 2015.

Sousa et al. (2021) em estudos com palmeira também constataram o aumento dos valores do Kcb com a maior quantidade de água disponível. Cammalleri et al. (2013) e Paço et al. (2019) em estudos com oliveira encontraram valor de Kcb médio de 0,59 e 0,48, respectivamente. Isso acontece devido à ausência de déficit hídrico e a elevada disponibilidade de energia favorecerem as trocas gasosas entre a atmosfera e a cultura, contribuindo para uma menor resistência à abertura estomática, e com o aumento das taxas transpiratórias e fotossintéticas, resultando em maiores produtividades (SANTOS et al., 2020).

Estimativas cada vez mais precisas do coeficiente cultural duplo para frutíferas irrigadas são indispensáveis para o correto manejo do sistema de irrigação, em especial em irrigações localizadas quando a água é aplicada diretamente próximo ao sistema radicular da planta. Comparando ambos os coeficientes, constata-se que o Kcb apresentou menor contribuição na evapotranspiração do que o Ke, devido a maior ocorrência de eventos de chuva e pelo acionamento do sistema de irrigação, que mantém a umidade do solo próximo ou acima da capacidade de campo, facilitando as perdas de água por evaporação (Tabela 1.5).

Tabela 1.4 – Valores médios de evapotranspiração de referência (ET₀); evapotranspiração da cultura (ET_c); coeficiente de cultivo simples (K_c); coeficiente de cultivo basal (K_{cb}) e coeficiente de evaporação (K_e) nas condições meteorológicas de Santa Izabel do Pará, durante o período uso do sistema de irrigação em 2020 e 2021

Ano	Meses	ET ₀	ET _c	K _c	K _{cb}	K _e
2020	Agosto	4,35	4,62	1,07	-	-
	Setembro	4,52	4,60	1,02	-	-
	Outubro	4,16	4,15	1,00	-	-

	Novembro	3,18	3,56	1,12	-	-
	Agosto	4,02	4,11	1,03	0,47	0,56
2021	Setembro	3,90	4,13	1,07	0,50	0,56
	Outubro	4,16	4,36	1,05	0,48	0,57
	Novembro	3,49	4,01	1,15	0,56	0,59

De acordo com Allen et al. (1998) as taxas de evaporação são máximas quando há disponibilidade de água e não há cobertura total do solo, como observado no plantio de coqueiro estudado. Isso demonstra a necessidade de adoção de estratégias que visem a diminuição das perdas por evaporação, por ser uma quantidade de água inutilizável no processo de assimilação de CO₂ pelo coqueiro, direcionando esforços e recursos financeiros para o uso racional e eficiente da água na região.

A produção total de frutos durante as 23 colheitas realizadas ao longo do experimento (agosto/2020 a dezembro/2021) foi de 221 frutos planta⁻¹. O número de frutos por cacho colhido variou de 5 a 16, com uma média de 9,6 ($\pm 3,18$). Em relação ao período seco (agosto a novembro), o número médio de frutos por cacho colhido do coqueiro ficou em torno de 7,9 ($\pm 3,86$). A produção mensal média durante este período foi de 1.609 frutos ha⁻¹ e 515 L ha⁻¹ (Tabela 1.6).

Tabela 1.5 – Valores médios de número de frutos, volume de água de coco, produtividade em termos de frutos e de água de coco, durante o período menos chuvoso dos anos de 2020 e 2021

Ano	Meses	N _f (frutos planta ⁻¹)	V _{ac} (ml fruto ⁻¹)	P _f (frutos ha ⁻¹)	P _{ac} (L ha ⁻¹)
2020	Agosto	6,95	348,19	1425	496
	Setembro	5,15	309,81	1056	327
	Outubro	5,30	329,94	1087	358
	Novembro	5,75	300,50	1179	354
2021	Agosto	13,25	320,90	2716	872
	Setembro	6,45	325,78	1322	438
	Outubro	8,30	317,25	1702	540
	Novembro	11,65	306,44	2388	737

N_f – número de frutos por planta; V_{ac} – volume de água de coco por fruto; P_f – produtividade em termos de fruto e P_{ac} – produtividade em termos de água de coco

Notou-se um aumento nos parâmetros de produção do ano de 2021 em relação a 2020 (Tabela 1.6). O desenvolvimento das estruturas reprodutivas do coqueiro é influenciado pelas condições meteorológicas e de manejo anteriores ao período de colheita dos frutos, uma vez que, a duração de colheita do cacho a partir da abertura da espata é de sete meses, aproximadamente (CÂMARA et al., 2019; MIRANDA et al., 2019). Em 2020, apesar das condições de elevada disponibilidade hídrica, em razão das chuvas e irrigações, a incidência de pragas e doenças observadas na área pode ter favorecido a queda na produção de frutos do coqueiro, pois causam injúrias,

apodrecimento e até mesmo queda dos frutos. Miranda et al. (2019) em estudos com coqueiro-anão no Ceará também constataram a queda na produção de frutos pela incidência de doença que causaram queima nas folhas do coqueiro.

Embora o ano de 2020 tenha apresentado menor produção de frutos, possivelmente pela ocorrência de praga e/ou doença na área, o volume de água de coco por fruto permaneceu acima do aceito pela indústria ($300 \text{ L planta}^{-1}$), assim como em 2021. A produtividade do coqueiro foi maior em 2021, decorrente da maior disponibilidade de água acumulada no ambiente, que contribui com a maior abertura estomática para realização do processo transpiratório e maior assimilação de CO_2 , conseqüentemente, aumento da fotossíntese, resultando em maiores rendimentos tanto em termos de fruto como de água de coco (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Esses resultados assemelham-se aos encontrados por Araújo et al. (2022) e Azevedo et al. (2006) onde o aumento da água disponível para o coqueiro, proporcionou acréscimo na produção de frutos. Santos et. al. (2020) em estudos com coqueiro-gigante em diferentes ambientes no Ceará, constataram o aumento das taxas fotossintéticas das áreas irrigadas que resulta em maiores produtividades.

CONCLUSÃO

- O consumo médio de água da área de cultivo do coqueiro-anão-verde na estação seca em Santa Izabel do Pará é de $4,21 (\pm 0,72)$ e de $4,14 (\pm 0,72) \text{ mm dia}^{-1}$ para os anos de 2020 e 2021, respectivamente. Esses valores demonstram que as condições ambientais influenciam na demanda hídrica do coqueiro;
- Os coeficientes de cultivo simples (K_c 1,1) e duplo (K_e 0,56 e K_{cb} 0,51) do coqueiro-anão-verde são fundamentais para o correto manejo do sistema de irrigação e para o fornecimento hídrico adequado para a cultura.

REFERÊNCIAS

ABDELKHALIK, A. et al. Effects of deficit irrigation on the yield and irrigation water use efficiency of drip-irrigated sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) under Mediterranean conditions. **Irrigation Science**, v.38, n.1, p.89–104, 2020.

ALLEN R. G. et al. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. **Documento de Irrigação e Drenagem da FAO 56**. Roma, 300 p., 1988.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711–728, 2013.

- ALVES, E. D. S. et al. Determinação do coeficiente de cultivo para a cultura do rabanete através de lisimetria de drenagem. **Irriga**, v.22, n.1, p.194–203, 2017.
- ARAÚJO, B. A. et al. Sustained deficit irrigation on yield and fruit water quality of dwarf green coconut. **Ciência Rural**, v.52, n.11, p.1-8, 2022.
- ATAIDE, W. L. S.; OLIVEIRA, F. de A.; PINTO, C. A. D. Balanço de radiação, energia e fechamento do balanço em uma floresta prístina na Amazônia oriental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.06, p.2603-2627, 2020.
- BENASSI, A. C. et al. Biometric characterization in fruitages of green dwarf coconut palm (*Cocos nucifera* L.) in different stages of development. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.29, n.2, p.302–307, 2007.
- BILLESBACH, D. P.; ARKEBAUER, T. J. First long-term, direct measurements of evapotranspiration and surface water balance in the Nebraska SandHills. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.156, p.104–110, 2012.
- BORGES, C. J. R. et al. Influência do calor armazenado no sistema solo-planta no balanço de energia em pomar de mangueiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.393-399, 2008.
- BRUM, M. et al. Effects of irrigation on oil palm transpiration during ENSO-induced drought in the Brazilian Eastern Amazon. **Agricultural Water Management**, v.245, p.106569, 2021.
- CÂMARA, F. M. M. et al. Fenologia do coqueiro anão verde em região semiárida. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.14, n.4, p.291-296, 2019.
- CAMMALLERI, C. et al. Evapotranspiration from an olive orchard using remote sensing-based dual crop coefficient approach. **Water Resources Management**, v.27, n.14, p.4877-4895, 2013.
- CASTRO, C. P.; PASSOS, E. E. M.; ARAGÃO, W. M. The phenology of dwarf coconut cultivars in north of sergipe coastal tablelands. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.13-19, 2009.
- CINTRA, F. L. D. et al. Efeito de volumes de água de irrigação no regime hídrico de solo coeso dos tabuleiros e na produção de coqueiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.4, p. 1041–1051, 2009.
- DE SOUZA, D. F. Controles biofísicos da evapotranspiração no cultivo do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, p.725-732, 2019.
- DICKEN, U.; COHEN, S.; TANNY, J. Examination of the Bowen ratio energy balance technique for evapotranspiration estimates in screenhouses. **Biosystems Engineering**, v.114, n.4, p. 397–405, 2013.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, 2018.

- FARIA JUNIOR, C. A. et al. Coeficiente dual de cultivo do milho pipoca em Tangará da Serra – MT. **Irriga**, v.24, n.3, p.473-485, 2019.
- FENNER, W. et al. Dual crop coefficient of common bean in Tangará da Serra, Mato Grosso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.5, p.455–460, 2016.
- FERREIRA NETO, M. et al. Emissão foliar, relações iônicas e produção do coqueiro irrigado com água salina. **Revista Ciência Rural**, v.37, n.6, p.1675-1681, 2007.
- FITO, J.; HULLE, S. W. H. V. Wastewater reclamation and reuse potentials in agriculture: towards environmental sustainability. **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, n. 3, p. 2949–2972, 2021.
- FLUMIGNAN, D. L.; FARIA, R. T. De; LENA, B. P. Test of a microlysimeter for measurement of soil evaporation. **Engenharia Agrícola**, v.32, n.1, p.80–90, 2012.
- FLUMIGNAN, D. L.; FARIA, R. T. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo de cafeeiros em fase de formação. **Bragantia**, v.68, p.269-278, 2009.
- IBGE. Censo Agropecuário. 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censoagropecuario.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 22 mai. 2021.
- JAYAKUMAR, M.; SASEENDRAN, SA; HEMAPRABHA, M. Crop coefficient for coconut (*Cocos nucifera* L.): A lysimetric study. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.43, p.235-240, 1988.
- KUMAR, M. et al. Nutritional and metabolomics characterization of the coconut water at different nut developmental stages. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.96, p.103738, 2021.
- LIMA, J. R. de. S. et al. Energy balance and evapotranspiration in cowpea under rainfed conditions. **Revista Ciencia Agronomica**, v.42, n.1, p.65–74, 2011.
- MARINHO, F. J. L. et al. Cultivo de coco “Anão Verde” irrigado com águas salinas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.8, p.1277–1284, 2006.
- MARQUES, T. V. Environmental and biophysical controls of evapotranspiration from Seasonally Dry Tropical Forests (Caatinga) in the Brazilian Semiarid. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.287, p.107957, 2020.
- MARTINS, S. C. F. Actual Evapotranspiration for sugarcane based on Bowen ratio - energy balance and soil water balance models with optimized crop coefficients. **Water Resources Management**, v.36, p.4557–4574, 2022.
- MIRANDA, F. R. de. et al. Eficiência do uso da água na irrigação do coqueiro anão. **Irriga**, v.24, n.1, p.109–124, 2019.
- MIRANDA, R. de. et al. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo do coqueiro anão-verde na região litorânea do Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, v.38, n.2, p.129–135, 2007.

- MOREIRA, S. F. et al. A Influência dos fenômenos El Niño e La Niña sobre a dinâmica climática da região Amazônica. **Multidisciplinary Reviews**, v.1, p.e2018014-e2018014, 2018.
- MOURA, A. E. S. S. et al. Interceptação das chuvas em um fragmento de floresta da Mata Atlântica na Bacia do Prata, Recife, PE. **Revista Árvore**, v.33, p.461-469, 2009.
- MARIN, C. T.; BOUTEN, W.; SEVINK, J. Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia. **Journal of Hydrology**, v.237, n.1, p.40-57, 2000.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION – NOAA. Disponível em: <https://www.noaa.gov/>. Acesso em: 11 jul. 2022.
- ORTEGA-FARIAS, S.; POBLETE-ECHEVERRÍA, C.; BRISSON, N. Parameterization of a two-layer model for estimating vineyard evapotranspiration using meteorological measurements. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.150, n.2, p.276–286, 2010.
- PAÇO, T. A. et al. Crop coefficients and transpiration of a super intensive Arbequina olive orchard using the dual Kc approach and the Kcb computation with the fraction of ground cover and height. **Water**, v.11, n.2, p.383, 2019.
- PASSOS, E. E. M. et al. Ecofisiologia. In: FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N. & SIQUEIRA, L. A., 3. ed. A cultura do coqueiro no Brasil. Brasília, Embrapa, 2018. p.91-100.
- PAULA, A., et al. Precipitação efetiva e interceptação pluviométrica em povoamento de *Eucalyptus* spp. em Vitória da Conquista – BA. **Holos**, v.5, p.1-12, 2020.
- PEREIRA, L. S. et al. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. **Agricultural Water Management**, v.147, p.4–20, 2015.
- PEREZ, P. J. et al. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.97, n.3, p.141–150, 1999.
- PUPPO, L. et al. Seasonal basal crop coefficient pattern of young non-bearing olive trees grown in drainage lysimeters in a temperate sub-humid climate. **Agricultural Water Management**, v.226, p.105732, 2019.
- QUERINO, C. A. S. et al. Balanço de ondas curtas sobre floresta sazonalmente alagável do Pantanal Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.20, 2017.
- RADIN, B.; SCHÖNHOFEN, A.; TAZZO, I. F. Impacto da quantidade e frequência de chuva no rendimento da soja. **Agrometeoros**, v.25, n.1, p.19–26, 2018.
- RODRIGUES, R. S. S.; BITTENCOURT, G. M.; FERNANDES, L. L. Escoamento superficial em uma pequena bacia hidrográfica rural da Amazônia. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.70, n.22, 2018.
- SANTOS, M. M. S. et al. Ecophysiology of the tall coconut growing under different coastal areas of northeastern Brazil. **Agricultural Water Management**, v.232, p.106047, 2020.

- SANTOS, T. V.; FONTANA, D. C.; ALVES, R. C. M. Avaliação de fluxos de calor e evapotranspiração pelo modelo SEBAL com uso de dados do sensor ASTER. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.5, p.488-496, 2010.
- SEVA, N. P.; PASCUAL, B. Determination of crop coefficient for chufa crop (*Cyperus esculentus* L. var. sativus Boeck.) for sustainable irrigation scheduling. **Science of The Total Environment**, v.768, p.144975, 2021.
- SILVA, A. R. A. da. et al. Physiological responses of dwarf coconut plants under water deficit in salt-affected soils. **Revista Caatinga**, v.30, n. 2, p.447–457, 2017.
- SILVA, J. B. Temporal variability in evapotranspiration and energy partitioning over a seasonally flooded scrub forest of the Brazilian Pantanal. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.308, p.108559, 2021.
- SILVA, T. J. A. da. et al. Evapotranspiration and crop coefficients in two irrigated wheat cultivars. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.24, p.252-257, 2020.
- SOUSA, D. de P. et al. Estimation of evapotranspiration and single and dual crop coefficients of acai palm in the Eastern Amazon (Brazil) using the Bowen ratio system. **Irrigation Science**, v.39, n.1, p.5–22, 2021.
- SOUSA, I. F. et al. Lisímetro de pesagem de grande porte. parte II: consumo hídrico do coqueiro anão verde irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, p.526–532, 2011.
- SOUZA, P. J. de O. P. de. et al. Diurnal Energy Balance in a Mango Orchard in the Northeast of Pará, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.33, n.3, p.537–546, 2018.
- SURENDRAN, U. et al. FAO CROPWAT model-based irrigation requirements for coconut to improve crop and water productivity in Kerala, India. **Sustainability**, v.11, n.18 p.1-15, 2019.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.
- TEIXEIRA, A. H. C. et al. Water productivity assessments for dwarf coconut by using Landsat 8 images and agrometeorological data. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.155, p.150-158, 2019.
- TONELLO, K. C. et al. Precipitação efetiva em diferentes formações florestais na Floresta Nacional de Ipanema. **Revista Árvore**, v.38, n.2, p.383-390, 2014.
- VELASCO-MUÑOZ, J. F. et al. Sustainable irrigation in agriculture: An analysis of global research. **Water**, v.11, n.9, p.2-25, 2019.
- XU, G. et al. A lysimeter study for the effects of different canopy sizes on evapotranspiration and crop coefficient of summer maize. **Agricultural Water Management**, v.208, p.1–6, 2018.

CAPÍTULO 2 – EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA EM COQUEIRO IRRIGADO NAS CONDIÇÕES DE CLIMA TROPICAL ÚMIDO NA AMAZÔNIA ORIENTAL

RESUMO

A crescente demanda por água de coco tem ocasionado a expansão do cultivo de coqueiro-anão-verde irrigado, no entanto, o uso ineficiente da água tem contribuído com a degradação e desperdício dos recursos hídricos, tornando fundamental estudos que visem otimizar o uso da água. Objetivou-se determinar a produtividade física e a eficiência do uso da água do coqueiro-anão-verde, nas condições climáticas de Santa Izabel do Pará, leste da Amazônia, Brasil. O experimento foi realizado no período de 2020 a 2021, em um plantio de coqueiro-anão-verde em espaçamento 7,5 m x 7,5 m em triângulo, na Fazenda Reunidas Sococo, apresentando uma área de aproximadamente 7 ha. A eficiência do uso da água foi determinada tanto em termos de produção de frutos como de produção de água de coco, através da relação da produtividade de frutos e da eficiência do uso da água com a evapotranspiração acumulada. O coqueiro-anão apresentou uma produção total de 105 e de 186 frutos planta⁻¹ e de 37 e de 62 L planta⁻¹ de água de coco nos anos de 2020 e 2021. A evapotranspiração total foi de 56,2 m³ (2020) e 53,2 m³ (2021). A EUA_f foi de 1,87 frutos m⁻³ (2020) e 2,94 frutos m⁻³ (2021) e a EUA_{ac} de 0,66 L m⁻³ (2020) e 0,98 L m⁻³ (2021).

PALAVRAS-CHAVE: *Cocos nucifera*. EUA. Evapotranspiração.

CHAPTER 2 – WATER USE EFFICIENCY IN IRRIGATED COCONUT TREES IN HUMID TROPICAL CLIMATE CONDITIONS IN EASTERN AMAZON

ABSTRACT

The growing demand for coconut water has led to the expansion of irrigated green-seaty cultivation, however, the inefficient use of water has contributed to the degradation and waste of water resources, making studies aimed at optimizing water use fundamental. The objective of this study was to determine the physical productivity and efficiency of water use of the green-toe coconut tree in the climatic conditions of Santa Izabel do Pará, eastern Amazon, Brazil. The experiment was carried out from 2020 to 2021, in a planting of green-sand coconut tree in spacing 7.5 m x 7.5 m in triangle, at Fazenda Reunidas Sococo, presenting an area of approximately 7 ha. The efficiency of water use was determined both in terms of fruit production and coconut water production, through the relationship of fruit yield and water use efficiency with accumulated evapotranspiration. The coconut tree had a total production of 105 and 186 fruit plants⁻¹ and 37 and 62 L plant⁻¹ coconut water in the years 2020 and 2021. Total evapotranspiration was 56.2 m³ (2020) and 53.2 m³ (2021). The WUE_f was 1.87 fruits m⁻³ (2020) and 2.94 fruits m⁻³ (2021) and the WUE_{ac} 0.66 L m⁻³ (2020) and 0.98 L m⁻³ (2021).

PALAVRAS-CHAVE: *Cocos nucifera*. WUE. Evapotranspiration.

INTRODUÇÃO

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é uma frutífera com ampla exploração comercial em torno de 90 países, principalmente nas latitudes 20° N e 20° S, pois apresentam condições edafoclimáticas mais favoráveis ao seu cultivo (SIVAKUMAR et al., 2021). No Brasil, a região Nordeste detém a maior produção de coco, porém, com a crescente demanda por água de coco, ocorreu a expansão do seu cultivo para outras regiões produtoras, como o Norte (FAO, 2022), destacando-se o estado do Pará como maior produtor regional, alcançando uma produção em 2020 de 189,6 milhões de frutos e um rendimento médio de 9,9 mil frutos ha⁻¹ (IBGE, 2022).

O coqueiro-anão é uma das culturas com maior exigência hídrica, sobretudo durante a fase de produção, uma vez que a presença dos órgãos reprodutivos, como inflorescência e frutos, atrelada as altas taxas de transpiração, tornam a cultura mais sensível ao déficit hídrico, quando nessas condições, o rendimento produtivo, tanto em termos de fruto como de água de coco, tende a ser comprometido, em decorrência do abortamento e má formação de frutos (ARAÚJO et al., 2022; MIRANDA et al., 2007).

A redução da água disponível no solo afeta o metabolismo das plantas, comprometendo o seu crescimento e desenvolvimento, uma vez que a água atua nos processos de divisão e expansão celular, no transporte de nutrientes para o interior das plantas e é inevitável ao processo transpiratório e fotossintético, visto que ambos ocorrem por uma rota comum e por um gradiente que favoreça o fluxo de água dentro da planta, o qual é regulado, além de outros fatores, pela disponibilidade hídrica no solo (SOUZA et al., 2020).

O uso da irrigação tem sido fundamental para evitar o déficit hídrico e diminuir os riscos climáticos, garantindo uma produtividade satisfatória (RADIN; SCHÖNHOFEN; TAZZO, 2018). O uso desta tecnologia ocorre principalmente em locais onde a distribuição das chuvas acontece de forma irregular, principalmente nos tipos climáticos B e nos subtipos climáticos “Am” e “Aw”, que apesar de apresentarem altos

índices pluviométricos, necessitam de uma suplementação hídrica em alguns períodos do ano (SOUZA et al., 2013).

A gestão dos recursos hídricos faz parte das metas para o desenvolvimento sustentável, haja vista que a água é um bem vital e os impactos provenientes da sua utilização de forma indiscriminada tem causado preocupações a nível global (FITO; HULE, 2021). A agricultura é uma das atividades que mais faz uso dos recursos hídricos através da irrigação (ANA, 2017). Com isso, o uso eficiente da água, através de uma suplementação hídrica que proporcione uma produtividade satisfatória e uma maximização da água utilizada no sistema, tem contribuído para o manejo sustentável do sistema de irrigação e diminuição dos problemas ambientais (VELASCO-MUÑOZ et al., 2019).

A eficiência do uso da água (EUA) corresponde a relação entre a produção, tanto em termos de frutos por planta ou em água de coco por planta, podendo ser em função da evapotranspiração ou da irrigação (MIRANDA et al., 2019; ALI; KLEIN, 2014). O conhecimento da EUA permite otimizar o uso da água e reduzir o déficit hídrico, contribuindo com a sustentabilidade no uso dos recursos hídricos.

Alguns estudos sobre a eficiência do uso da água já foram desenvolvidos para o coqueiro em outras regiões do País, como os de Araújo et al. (2022) e Miranda et al. (2019) no Ceará e o de Azevedo et al. (2006) em Sergipe. No entanto, as condições de clima e solo são intrínsecas a cada região onde a cultura está inserida, sendo necessário estudos dessa natureza em outras regiões produtoras, com o intuito de entender as interações que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera dessas localidades.

O objetivo desse estudo é determinar a eficiência do uso da água (EUA) em um plantio comercial de coqueiro-anão-verde irrigado, nas condições climáticas de Santa Izabel do Pará, Amazônia oriental.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O experimento foi realizado em um plantio comercial de coqueiro-anão-verde, localizado na Fazenda Reunidas Sococo (01° 13' 40,16" S e 48° 02' 54,35" W), no município de Santa Izabel do Pará, durante o período de janeiro de 2020 a dezembro de 2021 (Figura 2.1).

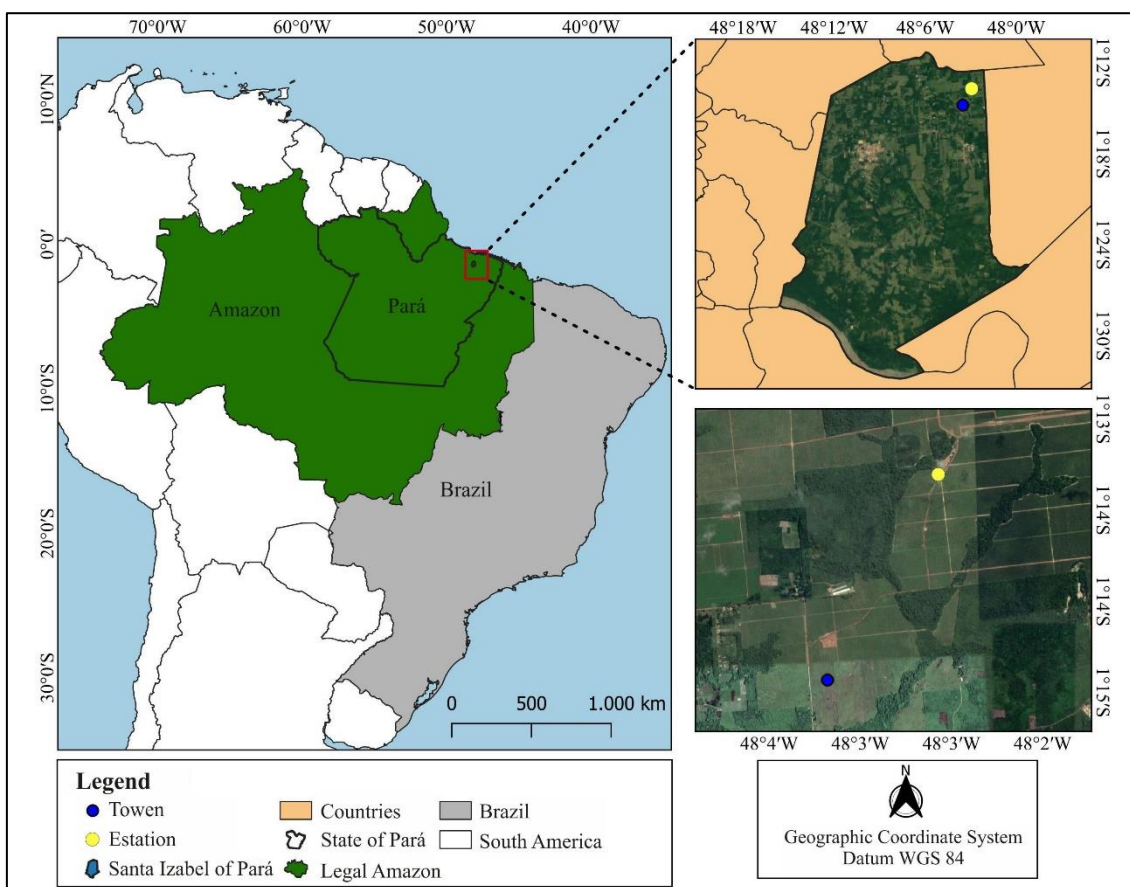


Figura 2.1 – Área Experimental, Santa Izabel do Pará

A cultivar utilizada foi a anão-verde-do-brasil-de-jiqui (AVeBrJ), com sete anos de idade e no terceiro (2020) e quarto (2021) ano de produção, com uma área plantada de aproximadamente 7 ha, com área da copa de 45,16 m² e no espaçamento 7,5 m x 7,5 m em triângulo equilátero (205 plantas ha⁻¹). A puerária (*Pueraria phaseoloides*), leguminosa herbácea perene, é a cobertura vegetal presente no solo, introduzida desde o início do plantio.

O clima da região é caracterizado como tropical úmido, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, apresentando subtipo climático “Am”, com estação seca moderada e precipitação pluviométrica anual acima de 2.000 mm, temperatura média anual em torno de 26 °C e umidade relativa do ar cerca de 80% (ALVARES et al., 2013).

O solo da área é de textura franco-arenosa, sendo classificado como Neossolo Quartzarênico (EMBRAPA, 2018) e suas características são apresentadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Caracterização físico-química e hídrica do solo da área experimental para o ano de 2020

Características	Profundidade (cm)	
	0-20	20-40

pH (CaCl ₂)	4,43	4,10
Matéria Orgânica (g dm ³)	8,75	3,25
Carbono Orgânico (g dm ³)	5,00	2,00
P (mg dm ³)	111,92	7,05
Ca ⁺² (mmol _c dm ³)	10,7	4,00
Mg ⁺² (mmol _c dm ³)	5,50	2,30
K ⁺ (mmol _c dm ³)	2,10	0,90
H ⁺ + Al ⁺³ (mmol _c dm ³)	33,7	32,7
Capacidade de troca catiônica (mmol _c dm ³)	52,5	40,10
Saturação por bases (%)	34,85	17,95
Saturação por Al (%)	6,48	31,76
Areia (%)	70	-
Silte (%)	12	-
Argila (%)	18	-
Capacidade de campo (m ³ m ⁻³)	0,195	-
Ponto de murcha permanente (m ³ m ⁻³)	0,098	-

As plantas foram adubadas com 3,3kg da formulação NPK (10-07-20 + 1,0% de magnésio + 5,5% de enxofre + 3,5% de cálcio e 0,10% de boro + 0,11% de manganês), sendo realizada duas vezes ao ano. Durante o período experimental foram mantidos todos os procedimentos de manejo adotados pela empresa, como: capinas, controle de pragas e doenças.

Sistema de irrigação

O coqueiro foi irrigado por microaspersão, posicionado a 1 m da base do estipe, sendo um emissor por planta, autocompensante e com vazão de 96 L h⁻¹, apresentando coeficiente de uniformidade de 96%, uma eficiência de aplicação de 86%, diâmetro molhado de 3 m e 60% de fração da superfície do solo molhada. No manejo da lâmina de irrigação utilizou-se turno de rega de 2 dias, sendo a demanda hídrica calculada com base na evapotranspiração de referência (ET₀) estimada pelo método de Penman-Monteith parametrizado por Allen et al. (1998), com os dados da estação meteorológica da empresa, instalada a cerca de 2 km da área experimental.

Monitoramento das condições meteorológicas

Na área experimental uma torre micrometeorológica automática (Torre 2) de 12 m de altura foi instalada e instrumentada com sensores para medir a radiação global incidente (CMP6, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA), saldo de radiação

(NR-LITE2, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA), temperatura e umidade relativa do ar (MeteoTemp, Barani Design Technologies, USA) a dois níveis acima do dossel do coqueiro (0,9 m e 2,1), fluxo de calor no solo (HFP01SC, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA) e precipitação pluviométrica (TB4, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA).

Estes sensores foram acoplados a dois sistemas de aquisição e armazenamento de dados (Datalogger CR1000 e CR10x, Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, EUA) e um multiplexador (AM416, Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, EUA) programado para efetuar leituras instantâneas a cada 30 segundos e gravação de médias e totais a cada 20 minutos.

Evapotranspiração da cultura

A evapotranspiração máxima do coqueiro (ET_c) para o período de agosto/2020 a dezembro/2021 foi determinada através do método do balanço de energia - razão de Bowen conforme Souza et al. (2018).

Para o período de janeiro a julho de 2020 a ET_c foi estimada, utilizando a evapotranspiração de referência, através da equação de Penman-Monteith proposta por Allen et al. (1998) multiplicada pelo K_c de 1,1, obtida no experimento. Para calcular a ET_0 foram obtidos dados da estação meteorológica automática localizada na empresa (Torre 1), instalada a cerca de 2 km da área experimental.

Monitoramento fenológico

Foram selecionadas e demarcadas, de forma aleatória, vinte e quatro plantas de coqueiro-anão-verde em um pomar homogêneo. As observações fenológicas foram realizadas quinzenalmente, durante o período de agosto/2020 a dezembro/2021, fazendo a contagem do número de flores femininas (fecundadas e não fecundadas) a partir da abertura da espata.

Produtividade de frutos e água de coco

Foram monitoradas, de forma aleatória, vinte plantas, com sete anos de idade e no quarto ano de produção. Foram avaliados, a cada 21 dias, durante 16 meses, o número de frutos por cacho colhido e o volume de água dos frutos.

Foram selecionados e transportados ao laboratório da empresa Sococo dois frutos de cada cacho colhido para as avaliações biométricas, de acordo com a metodologia adaptada de Benassi et al. (2007), com a retirada das hastes e a higienização dos frutos.

Após isso, a massa do fruto foi mensurada em uma balança digital com precisão de 0,01 grama, e posteriormente, estes eram perfurados para retirada e quantificação do albúmen líquido (água de coco) (Figura 2.2).

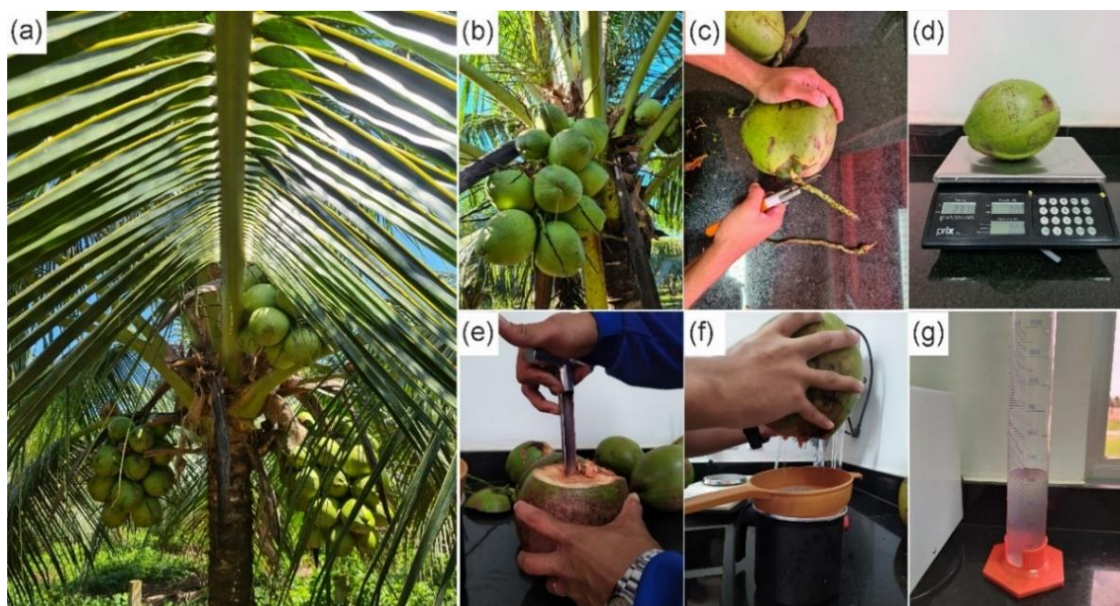


Figura 2.2 – Produtividade do (a) coqueiro-anão-verde, (b) cacho, (c) fruto, (d) pesagem do fruto, (e) abertura do fruto, (f) retirada da água de coco e (g) volume de água de coco

Eficiência do uso da água

A eficiência do uso da água foi estimada em função da produção de frutos e da água de coco em relação a evapotranspiração da cultura, usando as equações propostas por Miranda et al. (2019):

$$EUA_f = \frac{P_f}{ET_c} \quad (17)$$

$$EUA_{ac} = \frac{P_{ac}}{ET_c} \quad (18)$$

Em que EUA_f é a eficiência do uso da água em termos de produção de frutos (frutos m^{-3}); EUA_{ac} é a eficiência do uso da água em termos de água de coco (L m^{-3}); P_f é a produtividade de frutos ($\text{frutos planta}^{-1}$); P_{ac} é a produtividade de água de coco (L planta^{-1}) e ET_c é a evapotranspiração máxima do coqueiro ($\text{m}^3 \text{ planta}^{-1}$).

Análise estatística dos dados

Os dados foram submetidos a análise descritiva utilizando o Software Excel.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis meteorológicas monitoradas tanto pela estação meteorológica presente na empresa (Torre 1) como pela torre micrometeorológica presente na área

experimental (Torre 2), a irrigação (I) e a evapotranspiração total mensal do coqueiro (ET_c) são apresentadas na Figura 2.3. Percebe-se que a radiação solar global (R_g) média da Torre 2 esteve ligeiramente acima ($1,49 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) da média da Torre 1 (Figura 2.3a). Tal condição é decorrente dos altos volumes de chuvas na Torre 1 (3657 mm) em comparação a 2 (3317 mm), que reduzem a incidência da radiação solar na superfície, devido ao seu maior espalhamento (Figura 2.3c) (ATAIDE et al., 2020).

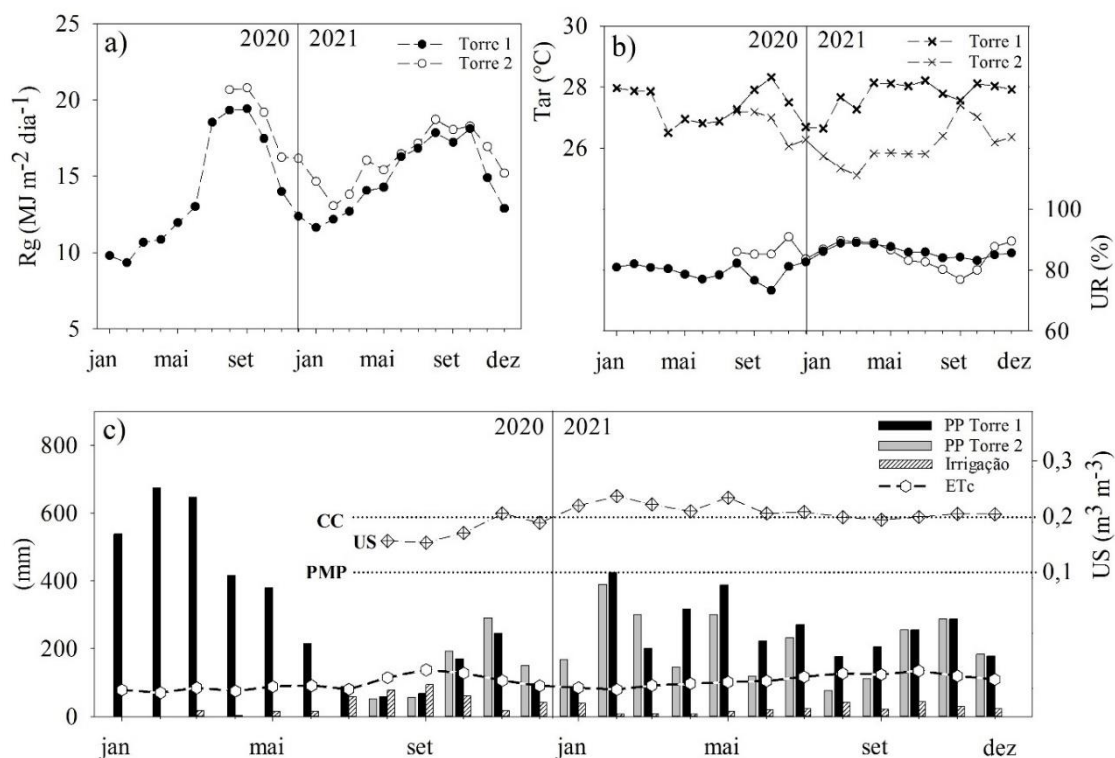


Figura 2.3 – Variação de (a) radiação global incidente (R_g); (b) temperatura do ar (T_{ar}) e umidade relativa do ar (UR); (c) precipitação pluviométrica (PP), irrigação (I), evapotranspiração da cultura acumulada (ET_c) e umidade volumétrica do solo (US), para as duas torres micrometeorológicas, durante os anos de 2020 e 2021

A ET_c total mensal variou entre 71 mm (fev/2021) a 138 mm (set/2020), apresentando uma média de 96 e 108 mm para os anos de 2020 e 2021, respectivamente (Figura 2.3c). Os maiores valores de ET_c ocorreram no período de menor incidência de chuvas (agosto a novembro), provavelmente pela alta demanda atmosférica nesse período, resultante da maior temperatura e menor umidade relativa do ar (Figura 2.3b). Miranda et al. (2019) em estudos com coqueiro na região Nordeste constataram que os maiores valores de evapotranspiração ocorreram na época em que não havia eventos de chuva. Araújo et al. (2022) também comprovaram que em períodos com altos volumes de chuvas a evapotranspiração acumulada do coqueiro tende a ser limitada.

As maiores lâminas de irrigação aplicadas foram de 61, 77 e 94 mm nos meses de outubro, agosto e setembro de 2020, respectivamente (Figura 2.3c). Em ambos os anos, nos meses de agosto e setembro, os valores de precipitação pluviométrica estiveram abaixo da demanda hídrica da cultura, indicando a necessidade de suplementação hídrica de 145,26 mm (7,0 m³ planta⁻¹ em 2020) e 63,79 mm (3,1 m³ planta⁻¹ em 2021), as quais foram supridas pelas aplicações das lâminas de irrigação de 171,11 mm (8,3 m³ planta⁻¹ em 2020) e 63,52 mm (3,1 m³ planta⁻¹ em 2021), respectivamente.

Notou-se que a quantidade de água disponível para o coqueiro proveniente das chuvas foi superior a evapotranspiração da cultura em praticamente todos os meses nos dois anos avaliados, exceto nos meses de agosto e setembro, evidenciando que durante esses meses do segundo semestre há a necessidade de uso da técnica de irrigação, aliado ao manejo adequado, com objetivo de aumentar a produtividade de frutos de água de coco de forma sustentável, evitando o desperdício dos recursos hídricos e financeiros (VELASCO-MUÑOZ et al., 2019).

A umidade no solo apresentou pequena variação ao longo dos meses, oscilando entre 0,164 e 0,247 m³ m⁻³, estando na maior parte do período próximo ou acima da capacidade de campo (Figura 2.3c). Essa elevada umidade do solo deve-se aos grandes volumes de água, decorrentes tanto das chuvas como das irrigações, que não infiltraram no solo causando seu encharcamento (RODRIGUES; BITTENCOURT; FERNANDES, 2017).

Quanto a produtividade, durante o período experimental, foi realizada 34 colheitas (17 por ano). O número de frutos por cacho colhido variou de 5 a 8, com média de 6,2 ($\pm 0,90$) frutos cacho⁻¹ e de 5 a 16, apresentando média de 10,9 ($\pm 2,90$) frutos cacho⁻¹ para os anos de 2020 e 2021, respectivamente (Figura 2.4a). Estes valores são maiores do que os encontrados por Câmara et al. (2019) em trabalhos com coqueiro na região semiárida, onde a média de fruto por cacho colhido foi de 5,2.

A produção de frutos do coqueiro é mais afetada pelas condições ambientais anteriores ao período de colheita, uma vez que o desenvolvimento da espata a partir da sua abertura experimenta todas as interações que ocorrem ao longo dos sete meses, até chegar no ponto ideal de colheita do fruto para água de coco (CÂMARA et al., 2019; MIRANDA et al., 2019).

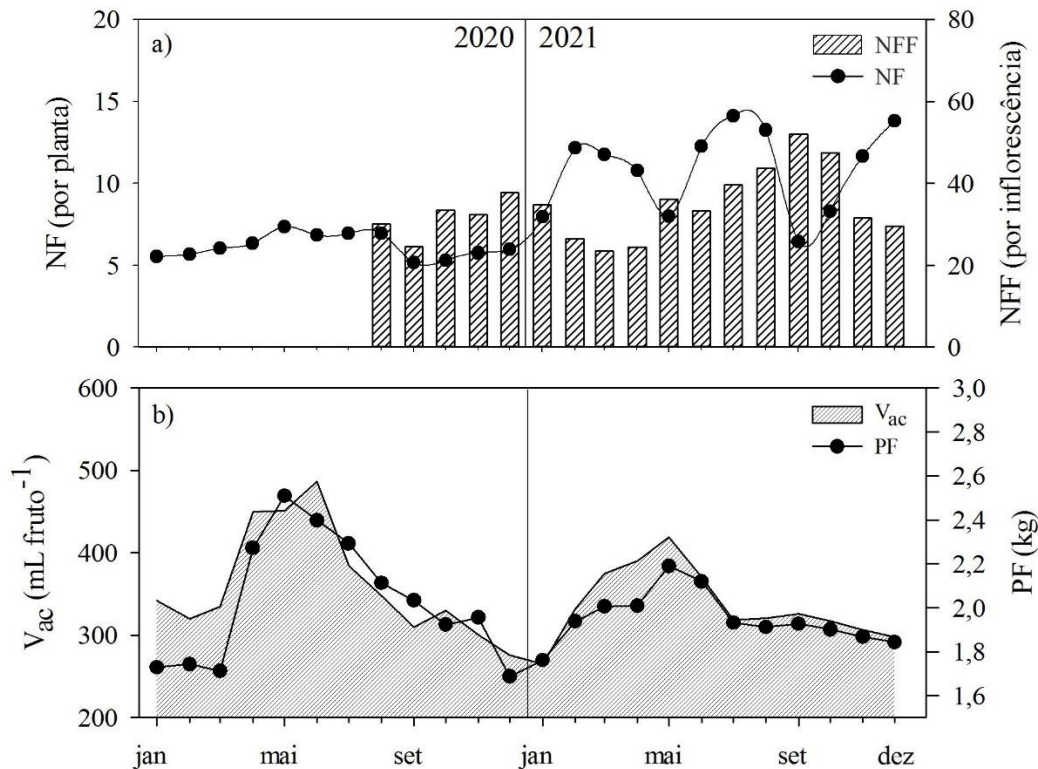


Figura 2.4 – Variação temporal do (a) número de frutos (NF) por planta e número de flores femininas (fecundadas e não fecundadas) por inflorescência (NFF) e (b) volume de água de coco (V_{ac}) por planta e peso médio do fruto (PF), durante os anos de 2020 e 2021

O número médio de flores femininas (fecundadas e não fecundadas) (NFF) variou de 24 a 52, com média de 34 ($\pm 15,32$) flores por inflorescência (Figura 2.4a). Estas apresentaram um aumento da sua produção durante a época seca, enquanto no período mais chuvoso a produção de flores femininas diminuiu. Esse comportamento assemelha-se aos encontrados por Leite e Encarnação (2002) em estudos sobre a fenologia do coqueiro em Pernambuco, onde as condições meteorológicas, principalmente a precipitação pluviométrica, influenciaram na floração e, conseqüentemente, na produção de frutos.

Observou-se que no primeiro ano de avaliação o número médio de frutos por cacho colhido foi menor que o segundo ano em torno de 4,7 frutos cacho⁻¹. Tal acontecimento pode estar associado a incidência de pragas e doenças observado em campo, atrelado aos elevados volumes de chuvas observado na torre 1 (Fig 2.3c), causando o abortamento das flores femininas e dos frutos, resultando em uma menor produção (CASTRO; PASSOS; ARAGÃO, 2009; MIRANDA et al., 2019). É possível que o excesso de chuvas, principalmente durante o primeiro semestre, também tenha prejudicado a ação dos polinizadores, inibindo o número de flores fecundadas,

proporcionando a queda na produção de frutos nos meses subsequentes (PASSOS; MELO; ARAGÃO, 2007).

O volume médio de água de coco (V_{ac}) por fruto foi de 361 ($\pm 64,42$) ml em 2020 e 337 ($\pm 41,71$) ml em 2021, oscilando entre 276 a 487 ml e 265 a 419 ml em 2020 e 2021, respectivamente (Figura 2.4b). Apesar do menor número de frutos no primeiro ano de experimento o volume médio de água de coco foi superior ao ano de 2021, muito provavelmente pela relação com a maior quantidade de chuvas. O mesmo padrão foi observado para o peso médio dos frutos (PF), que apresentaram média de 2,03 ($\pm 0,27$) kg em 2020 e 1,95 ($\pm 0,11$) kg em 2021, com variação entre 1,69 a 2,51 kg em 2020 e 1,76 a 2,19 kg em 2021. Nota-se, portanto, que os maiores volumes de água e os maiores pesos ocorreram durante a época chuvosa e os menores na seca, atingindo os máximos valores de V_{ac} e PF em maio, mês de maior precipitação pluviométrica em ambos os anos.

A sazonalidade no volume de água de coco por fruto e no peso médio do fruto está mais relacionada as condições atuais do meio, diferentemente do número de frutos, uma vez que a variabilidade no regime de chuvas provoca alterações nessas variáveis, aumentando e diminuindo de acordo com a quantidade de água disponível no ambiente (ARAÚJO et al., 2022).

Apesar da irrigação contribuir com a estabilidade da produção de água de coco e do peso dos frutos na época seca, a média dos valores referentes a esse período foi inferior, cerca de 12%, aos da época chuvosa, podendo estar relacionado não só pela maior quantidade de água proveniente das chuvas como também pela melhor distribuição do molhamento compreendendo uma área úmida superior, atingindo o sistema radicular do coqueiro como um todo, ao contrário do sistema de irrigação, onde o fornecimento de água é limitado, ocorrendo de forma localizada (CINTRA; RESENDE; LEAL, 2008; CINTRA et al., 2009).

O coqueiro-anão apresentou uma produção total de 105,1 e de 185,6 frutos planta⁻¹ e de 36,9 e de 62,2 L planta⁻¹ de água de coco nos anos de 2020 e 2021, respectivamente (Tabela 2.2). Esse baixo rendimento pode estar associado não só as condições meteorológicas como também a idade em que as plantas se encontravam, estando apenas no terceiro e quarto ano de produção, respectivamente, uma vez que a estabilidade de produção ocorre aos 8 anos, apresentando uma produção em torno de 200 frutos planta⁻¹ ano⁻¹ (CÂMARA et al., 2019).

Tabela 2.2 – Produtividade em termos de fruto (P_f) e água de coco (P_{ac}), evapotranspiração da cultura (E_{tc}) e eficiência do uso da água do coqueiro-anão-verde em produção de frutos (EUA_f) e volume de água de coco (EUA_{ac}) nas condições meteorológicas de Santa Izabel do Pará-PA, para os anos de 2020 e 2021

Ano	P_f (frutos planta ⁻¹ ano ⁻¹)	P_{ac} (L planta ⁻¹ ano ⁻¹)	E_{tc} (m ³)	EUA_f (frutos m ⁻³)	EUA_{ac} (L m ⁻³)
2020	105,1	36,9	56,2	1,87	0,66
2021	185,6	62,2	63,2	2,94	0,98
Média	145,4	49,6	59,7	2,4	0,8

Tais resultados assemelham-se aos encontrados por Azevedo et al. (2006) em pesquisas com coqueiro-anão, no quarto ano de produção, onde a produção foi de 186 frutos planta⁻¹. No entanto, foram maiores, em termos de fruto, e próximos ou menores em relação ao rendimento de água de coco, do que os obtidos por Miranda et al. (2019) em estudos com coqueiro no Ceará que encontraram rendimentos de 139 frutos planta⁻¹ e 64 L planta⁻¹ de água de coco. Resultados também foram próximos aos de Araújo et al. (2022) que avaliaram a produção de frutos através da irrigação deficitária, e encontraram uma produção de 145 frutos planta⁻¹ e de 81 L planta⁻¹ de água de coco.

A cada um m³ evapotranspirado pela área cultivada com coqueiro foram produzidos 1,87 e 2,94 frutos e 0,66 e 0,98 L de água de coco em 2020 e 2021, respectivamente (Tabela 2.2). O ano de 2021 apresentou evapotranspiração superior em torno de 13%, como também expressou a maior produção de frutos e de água de coco. É provável que o incremento de produção em 2021 tenha sido favorecido pela maior quantidade de água disponível para o coqueiro. No entanto, possivelmente a baixa eficiência observada no primeiro ano pode estar relacionada à baixa produção de frutos, decorrente da ocorrência de pragas e doenças visualmente percebido em campo.

A maior disponibilidade hídrica no solo favorece a transpiração das plantas e, conseqüentemente, a assimilação de CO₂, uma vez que ambas possuem uma rota difusional em comum, criando uma relação solo-planta-atmosfera e resultando em uma maior produção (SOUZA et al., 2020). Araújo et al. (2022) constataram que o aumento da quantidade de água fornecida para o coqueiro proporcionou um aumento de 33% na produtividade de frutos e de 8% na produtividade de água de coco. Azevedo et al. (2006) relataram um aumento de 12% na produção de frutos com acréscimo de água proveniente do sistema de irrigação.

O aumento na produção de frutos identificado nesse trabalho, contribuiu para uma maior eficiência do uso da água, tanto em termos de fruto (EUA_f), sendo superior em 57% como em termos de água de coco (EUA_{ac}), com acréscimo de 49% em relação ao ano de 2020, uma vez que, apesar das perdas de água pelo coqueiro, quando mantidas hidratadas, os processos metabólicos e fisiológicos são mais eficientes (YADAV et al., 2020).

Considerando os valores médios de eficiência do uso da água encontrados, os resultados foram semelhantes aos determinados por Miranda et al. (2019) que obtiveram uma EUA_f e uma EUA_{ac} de 2,3 e 1,0, respectivamente, com produtividade de 139,5 frutos e de 64,0 L de água de coco e com uma ET_c de 60,7 m³. Tais resultados demonstram que o coqueiro apresenta uma boa eficiência do uso da água e que a utilização de um manejo adequado pode contribuir com a estabilidade da produção de frutos, resultando em um aumento dessa eficiência.

CONCLUSÃO

- A produção de frutos do coqueiro-anão-verde é afetada pelas condições ambientais anteriores a colheita dos frutos;
- O volume de água de coco por fruto e o peso dos frutos aumentam durante o período mais chuvoso e diminuem na época seca, mesmo com o uso do sistema de irrigação;
- Em 2021 a eficiência do uso da água foi maior em termos de fruto (57%) e volume de água de coco (49%) do que em 2020.

REFERÊNCIAS

- ALI, M. K.; KLEIN, K. K. Water Use Efficiency and Productivity of the Irrigation Districts in Southern Alberta. **Water Resources Management**, v. 28, n. 10, p. 2751–2766, 2014.
- ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **Fao, Rome**, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ANA. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília-DF: Agência Nacional de Águas, 2017.
- ARAÚJO, B. A. et al. Sustained deficit irrigation on yield and fruit water quality of dwarf green coconut. **Ciência Rural**, v. 52, n. 11, p. 1-8, 2022.

- ATAIDE, W. L. S.; OLIVEIRA, F. de A.; PINTO, C. A. D. Balanço de radiação, energia e fechamento do balanço em uma floresta prístina na Amazônia oriental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 06, p. 2603-2627, 2020.
- AZEVEDO, P. V. et al. Water-use efficiency of dwarf-green coconut (*Cocos nucifera* L.) orchards in northeast Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 84, n. 3, p. 259-264, 2006.
- BENASSI, A. C. et al. Biometric characterization in fruitages of green dwarf coconut palm (*Cocos nucifera* L.) in different stages of development. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 2, p. 302–307, 2007.
- BERGONCI, J. I. et al. Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 8, p. 1531–1540, 2000.
- CÂMARA, F. M. M. et al. Fenologia do coqueiro anão verde em região semiárida. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 14, n. 4, p. 291-296, 2019.
- CASTRO, C. P.; PASSOS, E. E. M.; ARAGÃO, W. M. The phenology of dwarf coconut cultivars in north of sergipe coastal tablelands. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 13-19, 2009.
- CINTRA, F. L. D. et al. Efeito de volumes de água de irrigação no regime hídrico de solo coeso dos tabuleiros e na produção de coqueiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1041-1051, 2009.
- CINTRA, F. L. D.; RESENDE, R. S.; LEAL, M. L. S. Distribution of dwarf coconut roots under water volumes in a hardened soil of the Tablelands. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 614-619, 2008.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, 2018.
- FAO. FAOSTAT. Crops. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 22 mai. 2021.
- FITO, J.; HULLE, S. W. H. V. Wastewater reclamation and reuse potentials in agriculture: towards environmental sustainability. **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, n. 3, p. 2949–2972, 2021.
- LEITE, I. R. M.; ENCARNAÇÃO, C. R. F. Fenologia do coqueiro na zona costeira de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 6, p. 745-752, 2002.
- MIRANDA, F. R. de. et al. Eficiência do uso da água na irrigação do coqueiro anão. **Irriga**, v. 24, n. 1, p. 109–124, 2019
- MIRANDA, R. de. et al. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo do coqueiro anão-verde na região litorânea do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 2, p. 129–135, 2007.
- PASSOS, C. D.; PASSOS, E. E. M.; ARAGÃO, W. M. Comportamento fenológico do coqueiro anão verde nos tabuleiros costeiros de Sergipe. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. S2, p. 393-395, 2007.

- RADIN, B.; SCHÖNHOFEN, A.; TAZZO, I. F. Impacto da quantidade e frequência de chuva no rendimento da soja. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, p. 19–26, 2018.
- RODRIGUES, R. S. S.; BITTENCOURT, G. M.; FERNANDES, L. L. Escoamento superficial em uma pequena bacia hidrográfica rural da Amazônia. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 22, 2018.
- SIVAKUMAR, S. et al. Correlation and path coefficient studies for fruit component traits in coconut (*Cocos nucifera* L.) hybrids. **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 12, n. 1, p. 224–227, 2021.
- SOUZA, P. J. D. O. P. D. et al. Trocas gasosas do feijão-caupi cultivado no Nordeste Paraense em resposta à deficiência hídrica forçada durante a fase reprodutiva. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 13-22, 2020.
- SOUZA, P. J. de O. P. de. et al. Diurnal Energy Balance in a Mango Orchard in the Northeast of Pará, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 3, p. 537–546, 2018.
- SOUZA, R. O. R. de M. et al. Avaliação econômica da irrigação em pomares de açaí. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 7, n. 1, p. 54–65, 2013.
- VELASCO-MUÑOZ, J. F. et al. Sustainable Irrigation in Agriculture: An Analysis of Global Research. **Water**, v. 11, n. 9, p. 1758, 2019.
- YADAV, A. et al. Transcriptome analysis of flowering genes in mango (*Mangifera indica* L.) in relation to floral malformation. **Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology**, v. 29, n. 2, p. 193–212, 2020.