



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL
CAMPUS DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AGRÁRIAS – CECA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA



RICARDO BARROS SILVA

**CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA MANDIOCA SOB NÍVEIS DE
IRRIGAÇÃO**

Rio Largo, AL

2021

RICARDO BARROS SILVA

**CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA MANDIOCA SOB NÍVEIS DE
IRRIGAÇÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do *Campus* de Engenharia e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

Orientadores:

Professor Dr. Iêdo Teodoro – UFAL

Professor Dr. José Leonaldo de Souza – UFAL

Rio Largo, AL

2021

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

S586c Silva, Ricardo Barros
Crescimento e produtividade da mandioca sob níveis de irrigação. /
Ricardo Barros Silva – 2021.
87 f.; il.

Tese (Doutorado em Agronomia: Produção vegetal) - Universidade
Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias. Rio
Largo, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Iêdo Teodoro
Coorientação: Prof. Dr. José Leonardo de Souza

Inclui bibliografia

1. Mandioca. 2. Irrigação. 3. Colheita – produtividade. I. Título.

CDU: 635.23

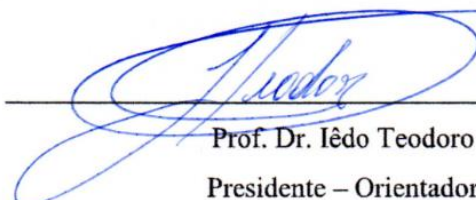
TERMO DE APROVAÇÃO

RICARDO BARROS SILVA


(Matrícula 2018104161)

**“CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA MANDIOCA SOB NÍVEIS DE
IRRIGAÇÃO”**

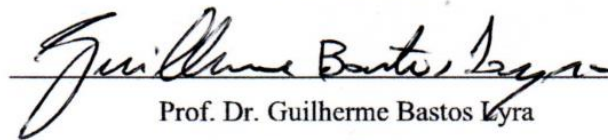
Tese apresentada e avaliada pela banca examinadora em 09 de dezembro de 2020, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS.



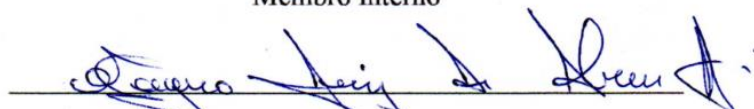
Prof. Dr. Iêdo Teodoro
Presidente – Orientador



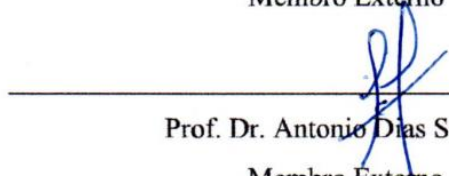
Prof. Dr. José Leonaldo de Souza
Coorientador



Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra
Membro Interno



Prof. Dr. Magno Luiz de Abreu
Membro Externo



Prof. Dr. Antonio Dias Santiago
Membro Externo

Rio Largo, AL
Dezembro de 2020

*Aos meus pais, Elizabete Maria Barros Silva e Milton Alves Silva,
e as minhas irmãs, Elaine Barros Silva, Liliane Barros Silva e
Mariana Barros Silva, por todo incentivo.*

Dedico!

AGRADECIMENTOS

A Deus por toda força, sabedoria e perseverança para jamais desistir dos meus objetivos;

Aos meus orientadores, Prof. Iêdo Teodoro e Prof. José Leonaldo, pela orientação, confiança, amizade e paciência no decorrer dessa jornada;

Aos professores do laboratório de irrigação e agrometeorologia – LIA, Guilherme Lyra, Marcos Alex e Ricardo Araújo, pelas sugestões e ajuda na condução dessa pesquisa;

Ao meu amigo, Dr. Ivomberg Dourado, pela amizade, convivência e fundamental ajuda na implantação e condução dessa pesquisa;

A minha namorada, amiga e parceira, Gleica Martins, por todo carinho e palavras de conforto nos momentos mais difíceis;

Aos colegas e amigos de laboratório e pós-graduação pela convivência, amizade e ajuda na condução dessa pesquisa;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – PPGA, pelos conselhos e ensinamentos;

Ao secretário do PPGA, Gustavo Nepomuceno, por toda competência e disponibilidade em ajudar;

A todos servidores do *Campus* de Engenharia e Ciências Agrárias – CECA, agradeço a prestabilidade e disponibilidade da estrutura física do *Campus*;

À EMBRAPA – UEP / Rio Largo, pelo apoio e fornecimento de água para realização da pesquisa;

Aos membros da banca pelas sugestões e correções para enriquecimento deste trabalho;

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

Muito Obrigado!

RESUMO

Entender as relações solo-água-plantat-atmosfera e as respostas da mandioca à níveis de irrigação é essencial para aumentar a produtividade dessa cultura nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. Por isso, essa pesquisa, teve como objetivo avaliar o crescimento, produtividade e aspectos fisiológicos da mandioca em função de níveis de irrigação. O experimento foi realizado no *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), no período de junho de 2019 a junho de 2020. O delineamento estatístico utilizado foi blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram seis níveis de irrigação, em função da evapotranspiração da cultura – ET_C ($L_0 = 0\%$ (sequeiro), $L_1 = 40\%$, $L_2 = 80\%$, $L_3 = 120\%$, $L_4 = 160\%$ e $L_5 = 200\%$ da ET_C). E, as variáveis de crescimento e produção analisadas foram: altura de plantas, número de folhas, comprimento e diâmetro do caule, número, comprimento e diâmetro de raízes comerciais, índice de área foliar e produtividade de matéria fresca e seca de: raiz, caule e folha, biomassa total (raíz, caule e folha) e índice de colheita. As variáveis fisiológicas analisadas foram: taxa fotossintética líquida, concentração interna de CO_2 , transpiração, temperatura foliar, condutância estomática, eficiência instantânea do uso da água, rendimento quântico potencial e eficiência quântica efetiva do fotossistema II e índice SPAD. Nessa pesquisa, a lâmina total foi definida como a irrigação total mais a chuva efetiva. A temperatura do ar média, durante a pesquisa, foi $25,1^\circ C$, a umidade relativa do ar média foi $74,2\%$, e a precipitação pluvial (chuva) total acumulada foi de 1.847 mm, dos quais 212 mm ocorreram no período em que a cultura foi irrigada, a partir de outubro de 2019 a março de 2020. Isso resultou numa chuva efetiva de 522 mm e, nos cultivos de sequeiro, foi estimado um déficit hídrico de 508 mm e excesso de 1.323 mm. A evapotranspiração de referência (ET_0) acumulada foi 1.454 mm e a ET_C 1.030 mm no ciclo de produção de 355 dias da mandioca. O índice de área foliar máximo foi $7,6$, o comprimento máximo de raízes comerciais, 49 cm, as maiores produtividades de raízes e biomassa total foram de 94 e 149 $t\ ha^{-1}$, respectivamente. A lâmina total de máxima eficiência econômica média, com os preços da tonelada de R\$ $180,00$ a $400,00$, foi 911 mm que produziu 94 $t\ ha^{-1}$ de raízes de mandioca. Enquanto, a produtividade de matéria seca de raízes e total máximas foram 47 e 69 $t\ ha^{-1}$, respectivamente, maior índice de colheita foi $0,66$. E, as variáveis fisiológicas máximas foram: taxa fotossintética, $22,5$ μmol de $CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$; taxa transpiratória e condutância estomática $4,0$ e $0,35$ μmol de $H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$, respectivamente; concentração interna de CO_2 de 245 $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$; eficiência quântica efetiva máximo foi $0,68$ e o índice SPAD máximo foi 57 . De maneira geral, a irrigação é capaz de gerar um maior índice de área foliar, comprimento radicular e aumento produtivo de raízes e biomassa total de 194 e 99% na cultura da mandioca, na região de Rio Largo, AL.

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Crantz; lâmina de irrigação total; evapotranspiração da cultura; índice de colheita.

ABSTRACT

Understanding the soil-water-plant-atmosphere relationships and the productive responses of cassava to irrigation depth is essential to increase the productivity of this crop in the Coastal Plateaus of Alagoas. For this reason, this research aimed analyze the growth, productivity and physiological aspects of cassava according to irrigation levels. The experiment was carried out at the *Campus* of Engineering and Agricultural Sciences (CEAS) of the Federal University of Alagoas (FUAL), from June 2019 to June 2020. The statistical design used was randomized blocks, with four repetitions. The treatments were six levels of irrigation, depending on the evapotranspiration of the crop – ET_C ($L_0 = 0\%$ (rainfed), $L_1 = 40\%$, $L_2 = 80\%$, $L_3 = 120\%$, $L_4 = 160\%$ and $L_5 = 200\%$ of ET_C). And the growth and production variables analyzed were: plant height, number of leaves, length and diameter of the stem, number, length and diameter of commercial roots, leaf area index (LAI) and fresh and dry matter productivity of: root, stem and leaf, fresh and dry total biomass (root, stem and leaf), per hectare, and harvest index. The physiological variables analyzed were: liquid photosynthetic rate, internal CO_2 concentration, transpiration, leaf temperature, stomatal conductance, instant water use efficiency, potential quantum yield and effective quantum efficiency of photosystem II and SPAD index. In this research, the total depth was defined as total irrigation plus the effective rain. The average air temperature during the search period was $25.1^\circ C$, the average relative humidity was 74.2%, and the total accumulated rainfall (rain) was 1,847 mm. Of this total, 212 mm occurred in the period when the crop was irrigated, from October 2019 to March 2020. This it resulted in an effective rain of 522 mm and, in rainfed crops, was estimated a water deficit of 508 mm and an excess of 1,323 mm. The accumulated reference evapotranspiration (ET_0) was 1,454 mm and the ET_C was 1,030 mm in the 355 day cassava cycle. The maximum LAI was 7.6, the maximum length of commercial roots, 49 cm, the highest root yields and total biomass were 94 and 149 t ha^{-1} , respectively. The total depth of maximum mean economic efficiency, with prices from R \$ 180.00 to 400.00 reais per tonnes of cassava, was 911 mm that produced 94 t ha^{-1} of cassava roots. Meanwhile, the maximum root and total dry matter productivity were 47 and 69 t ha^{-1} , respectively, the highest harvest index was 0.66. And, the maximum physiological variables were: photosynthetic rate, 22.5 μmol of CO_2 $m^{-2} s^{-1}$; transpiratory rate and stomatal conductance 4.0 and 0.35 μmol of H_2O $m^{-2} s^{-1}$, respectively; internal concentration of CO_2 of 245 μmol $m^{-2} s^{-1}$; maximum effective quantum efficiency was 0.68 and the maximum SPAD index was 57. In general, irrigation can generating a higher index of leaf area, root length and increase of productivit roots and total biomass of 194 and 99% in the cassava crop, in the region of Rio Largo, AL.

Keywords: *Manihot esculenta* Crantz; total irrigation depth; evapotranspiration of culture; harvest index.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

- Figura 2.1.** Temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) mínima do ar (T_{MIN}), média (T_{X}) e máxima (T_{MAX}) diárias e umidade relativa (%) do ar média diária (UR_{MED}), na região de Rio Largo, AL, no período de junho de 2019 a junho de 2020. 44
- Figura 2.2.** Precipitação pluvial (chuva), evapotranspiração de referência (ET_0) e da cultura (ET_C) e níveis de irrigação (L) descendais, na região de Rio Largo, AL, no período de junho de 2019 a junho de 2020. 45
- Figura 2.3.** Balanço hídrico decendial da cultura da mandioca sem irrigação (L_0), com ênfase para o excesso e déficit hídrico na região de Rio Largo, AL, no período de junho de 2019 a junho de 2020. 46
- Figura 2.4.** Índice de área foliar (IAF) da mandioca sob os níveis de irrigação, L_0 (A), L_1 (B), L_2 (C), L_3 (D), L_4 (E), L_5 (F), na região de Rio Largo, AL, cultivada no período de junho de 2019 a junho de 2020. 48
- Figura 2.5.** Comprimento de raízes (CR) da mandioca sob os níveis de irrigação, na região de Rio Largo, AL, cultivada no período de junho de 2019 a junho de 2020. 49
- Figura 2.6.** Produtividade de raízes comerciais – PR e total – BT (A), matéria seca de raízes – PMSR e total – PMST (B) da mandioca sob níveis de irrigação, na região de Rio Largo, AL, cultivada no período de junho de 2019 a junho de 2020. 50
- Figura 2.7.** Produtividade de máxima eficiência econômica – PMEE (A) e índice de colheita – IC (B) da mandioca sob níveis de irrigação, na região de Rio Largo, AL, cultivada no período de junho de 2019 a junho de 2020. 51

CAPÍTULO III

- Figura 3.1.** Temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) do ar mínima (T_{MIN}), média (T_{X}) e máxima (T_{MAX}) diárias e umidade relativa (%) do ar média diária (UR_{MED}), na região de Rio Largo, AL, no período de junho de 2019 a junho de 2020. 64
- Figura 3.2.** Precipitação pluvial (chuva), evapotranspiração (mm) de referência (ET_0) e da cultura (ET_C), valores decendiais, na região de Rio Largo, AL, no período de junho de 2019 a junho de 2020. 65
- Figura 3.3.** Balanço hídrico decendial da cultura da mandioca sob os níveis de irrigação, L_0 (A), L_1 (B), L_2 (C), L_3 (D), L_4 (E) e L_5 (F), com ênfase para o excesso e déficit hídrico na região de Rio Largo, AL, no período de junho de 2019 a junho de 2020. 66

Figura 3.4. Taxa fotossintética líquida – A (A), concentração interna de CO ₂ – Ci (B), transpiração – E (C) e condutância estomática – gs (D) da mandioca sob níveis de irrigação, na região de Rio Largo, AL, cultivada no período de junho de 2019 a junho de 2020.	69
Figura 3.5. Índice de área foliar (IAF) da mandioca sob os níveis de irrigação, L ₀ (A), L ₁ (B), L ₂ (C), L ₃ (D), L ₄ (E), L ₅ (F), na região de Rio Largo, AL, cultivada no período de junho de 2019 a junho de 2020.	72
Figura 3.6. Índice SPAD (A) e eficiência quântica efetiva – Φ PSII (B) da mandioca sob níveis de irrigação na região de Rio Largo, AL, cultivada no período de junho de 2019 a junho de 2020.	73
Figura 3.7. Produtividade (t ha ⁻¹) de raízes comerciais – PR (A) e biomassa total – BT (B) da mandioca sob níveis de irrigação na região de Rio Largo, AL, cultivada no período de junho de 2019 a junho de 2020.	74

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1.1. Efeito da temperatura sobre o crescimento e desenvolvimento da cultura da mandioca.	21
Tabela 1.2. Fases de desenvolvimento e coeficiente de cultura (K_C) da mandioca.	23

CAPÍTULO II

Tabela 2.1. Características físico-hídricas e granulométricas do solo da área experimental. .	38
Tabela 2.2. Propriedades químicas do solo da área experimental.	39
Tabela 2.3. Demonstrativo de valores para cálculo do preço do milímetro de água aplicada na cultura da mandioca por aspersão convencional.	42
Tabela 2.4. Preço mínimo, médio e máximo no decorrer da safra 2020, utilizado para calcular o preço médio da tonelada de raízes de mandioca em Alagoas.	43
Tabela 2.5. Precipitação pluvial total (P_{TOTAL}) e efetiva (chuva efetiva), lâminas de irrigação brutas totais aplicadas (irrigação total), precipitação pluvial efetiva mais irrigação (lâmina total), déficit e excesso hídrico durante o ciclo de cultivo da mandioca, em Rio Largo, AL, no período de junho de 2019 a junho de 2020.	46
Tabela 2.6. Análise de variância das variáveis de crescimento e de produção da mandioca sob níveis de irrigação na região de Rio Largo, AL, cultivada no período de junho de 2019 a junho de 2020.	47

CAPÍTULO III

Tabela 3.1. Precipitação pluvial total (P_{TOTAL}) e efetiva (chuva efetiva), lâminas de irrigação brutas totais aplicadas (irrigação), o somatório da $P_{EFET.} +$ Irrigação (lâmina total) e produtividade agrícola particionada (raiz, caule e folha) e total durante o ciclo de cultivo da mandioca em Rio Largo, AL, no período de junho de 2019 a junho de 2020.	65
Tabela 3.2. Análises de variância das variáveis fisiológicas e de produção da mandioca sob níveis de irrigação na região de Rio Largo, AL, cultivada no período de junho de 2019 a junho de 2020.	68
Tabela 3.3. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis, condutância estomática (gs), concentração interna de CO_2 (C_i), transpiração (E), taxa fotossintética líquida (A), índice SPAD, eficiência efetiva do PSII (Φ_{PSII}), índice de área foliar (IAF) e a produtividade de raízes comerciais (PR) da mandioca sob níveis de irrigação na região de Rio Largo, AL, cultivada no período de junho de 2019 a junho de 2020.	75

APÊNDICES

Apêndice 1. Croqui do experimento.....	82
Apêndice 2. Vista do experimento aos 135 e 355 DAP.	82
Apêndice 3. Solo preparado para o plantio.....	83
Apêndice 4. Retirada e transporte de manivas.....	83
Apêndice 5. Instalação do experimento, adubação e sistema de irrigação.....	83
Apêndice 6. Fotos do experimento aos 210 DAP.....	85
Apêndice 7. Avaliações experimentais.....	86
Apêndice 8. Plantas na colheita.....	87

SIGLAS E SÍMBOLOS

A	Taxa fotossintética líquida ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
A/E	Eficiência instantânea do uso da água ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$)
AFD	Água facilmente disponível
AL	Alagoas (estado brasileiro)
AP	Altura de plantas (m)
AF	Área foliar
BT	Produtividade de biomassa total (t ha^{-1})
CTC	Capacidade de troca de cátions
CC	Comprimento do caule (cm)
CECA	<i>Campus</i> de Engenharia e Ciências Agrárias
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
Ci	Concentração interna de CO_2 ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
CO_2	Dióxido de carbono
CR	Comprimento de raízes comerciais (cm)
CV	Coefficiente de variação
CW	Custo do insumo (R\$)
DAP	Dias após o plantio
DBC	Delineamento em blocos casualizados
DC	Diâmetro do caule (mm)
DEF	Déficit hídrico
DPV	Déficit de pressão de vapor
DR	Diâmetro de raízes (mm)
E	Taxa transpiratória ($\mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
ET_0	Evapotranspiração de referência (mm dia^{-1})
ET_c	Evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1})
ET_r	Evapotranspiração real (mm dia^{-1})
EXC	Excesso hídrico
FAO	Food and Agriculture Organization
Fv/Fm	Rendimento quântico potencial do fotossistema II
GL	Graus de liberdade
Gs	Condutância estomática ($\mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
ha	Hectare (10.000 m^2)

IAF	Índice de área foliar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Índice de colheita
IRGA	Infrared gas analyzer
K _c	Coeficiente da cultura
L	Nível de irrigação (% ET _C)
LIA	Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia
MO	Matéria orgânica (%)
NF	Número de folhas
NRC	Número de raízes comerciais
mm	Milímetro
PC	Produtividade de caule (t ha ⁻¹)
PEP	Fosfoenolpiruvato carboxilase
PF	Produtividade de folhas (t ha ⁻¹)
Pi	Preço da tonelada de raízes de mandioca (R\$)
PMSC	Produtividade de matéria seca do caule (t ha ⁻¹)
PMSF	Produtividade de matéria seca das folhas (t ha ⁻¹)
PMSR	Produtividade de matéria seca das raízes (t ha ⁻¹)
PMEE	Produtividade de máxima eficiência econômica (t ha ⁻¹)
PMST	Produtividade de matéria seca total (t ha ⁻¹)
PR	Produtividade de raízes (t ha ⁻¹)
PSII	Fotossistema II
P _{TOTAL}	Precipitação pluvial total (mm)
r	Coeficiente de correlação (%)
R ²	Coeficiente de determinação (%)
RID	Royal Irrigation Department
SB	Soma de bases
SPAD	Soil Plant Analysis Development
T	Toneladas
t ha ⁻¹	Toneladas por hectare
T _f	Temperatura foliar (°C)
T _{med}	Temperatura média do ar (°C)
T _{min}	Temperatura mínima do ar (°C)

T _{max}	Temperatura máxima do ar (°C)
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UR	Umidade relativa do ar (%)
UR _{med}	Umidade relativa do ar média (%)
V	Saturação por bases (%)
W	Quantidade de insumo que proporciona a PMEE (mm)
X _{MÁX}	Quantidade de insumo que proporciona a produtividade máxima (mm)
Y _{MÁX}	Produtividade física máxima (t ha ⁻¹)
ΦPSII	Eficiência quântica efetiva do fotossistema II

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	18
2.1. Objetivo Geral	18
2.2. Objetivos Específicos	18
CAPÍTULO I	19
1. REVISÃO DE LITERATURA	19
1.1. Aspectos Gerais	19
1.2. Exigências Bioclimáticas	20
1.3. Irrigação	21
1.4. Balanço Hídrico.....	24
1.5. Exigências edáficas e nutricionais.....	24
1.6. Aspectos Ecofisiológicos	25
1.7. Componentes de Produção	27
1.8. Referências Bibliográficas	28
CAPÍTULO II.....	34
CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA MANDIOCA SOB NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO NOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS	34
Resumo.....	34
Abstract	35
2.1. INTRODUÇÃO.....	36
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	38
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
2.4. CONCLUSÕES.....	53
2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
CAPÍTULO III	57
ASPECTOS FISIOLÓGICOS E PRODUTIVOS DA MANDIOCA SOB DIFERENTES NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO	57
Resumo.....	57
Abstract	58
3.1. INTRODUÇÃO	59
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	61
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
3.4. CONCLUSÕES.....	76

3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
4. APÊNDICES.....	81

CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA MANDIOCA SOB NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO

1. INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma das culturas agrícolas mais produzidas no mundo, sendo destinada tanto a alimentação humana como animal (DUARTE et al., 2016). É considerada uma importante fonte de carboidratos e uma planta com alta capacidade de adaptação a períodos de seca (SANTIAGO et al., 2015; PIPATSITEE et al., 2018). Essas características a torna amplamente difundida no planeta, especialmente nos países em desenvolvimento, onde é cultivada, principalmente, em pequenas áreas e com baixo nível tecnológico (SALLA et al., 2010).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO (2020), em 2018 foram produzidas 277,8 milhões de toneladas de raízes de mandioca no mundo, com produtividade média de apenas 11,27 t ha⁻¹. Essa baixa produtividade é proporcionada pelo fato de cultivos ocorrerem, principalmente, em solos pobres e sob baixo índice tecnológico, como, por exemplo, sem irrigação, adubação e utilização de cultivares pouco produtivas, aliado a irregularidade de chuvas (EZUI et al., 2016).

Na região Nordeste do Brasil, a maior parte dos cultivos ocorrem em sequeiro e são desenvolvidos por pequenos e médios produtores. Essa região é caracterizada pela distribuição irregular de chuvas e períodos de seca prolongados (SILVA et al., 2011) que interfere na produtividade da mandioca. Por outro lado, déficits hídricos provocados por longos períodos de seca comprometem a fisiologia das plantas e induz ao fechamento estomático, redução da taxa fotossintética e transpiração foliar, conseqüentemente, interfere negativamente na produtividade de raízes, caule e folhas da cultura (EL-SHARKAWY, 2007).

Dessa forma, pelos motivos acima expostos, são necessários estudos para indicar os níveis adequados de irrigação para a cultura da mandioca, especialmente na fase inicial, quando o estabelecimento das plântulas depende do nível de umidade no solo para promover a brotação das gemas e crescimento radicular e foliar. Em condições de locais semiáridos, isso se torna ainda mais relevante, posto que a água é um dos principais recursos limitantes para a produção agrícola (MÉLO NETO et al., 2018). Além disso, conhecer os mecanismos fisiológicos da cultura sob diferentes regimes hídricos pode auxiliar na tomada de decisões sobre o manejo hídrico ideal para proporcionar maior produtividade (EL-SHARKAWY, 2007).

Muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de determinar o manejo hídrico ideal para a cultura da mandioca sob diversas condições edafoclimáticas (LOPES et al.,

2010; ODUBANJO et al., 2011; PIPATSITEE et al., 2018). Entretanto, quando se compara a quantidade de pesquisas realizadas para outras culturas, conclui-se que as pesquisas sobre o cultivo da mandioca irrigada no Nordeste do Brasil ainda são poucas (MÉLO NETO et al., 2018). Em Alagoas esses estudos são ainda mais escassos, de modo que, em sua maioria, as pesquisas focam em testes para determinação de produtividade de genótipos (VERISSIMO et al., 2010; SANTIAGO et al., 2015; MORAIS et al., 2017). Diante disso, o desenvolvimento de novas pesquisas voltadas a determinação do manejo hídrico ideal da mandioca sob as condições edafoclimáticas de Alagoas é bastante relevante, uma vez que a irrigação aliada a um manejo adequado pode possibilitar um bom desenvolvimento inicial da cultura, conferir maior vigor às plantas para superar as adversidades do ambiente e reduzir o impacto na produção final de biomassa (MÉLO NETO et al., 2018).

Devido ao exposto, o presente estudo foi organizado para conhecer como níveis de irrigação interferem na produtividade da mandioca e está estruturado nos seguintes tópicos:

- Objetivos;
- Capítulo I – Revisão de Literatura;
- Capítulo II - Crescimento e produtividade de mandioca sob níveis de irrigação nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas;
- Capítulo III - Aspectos fisiológicos e produtivos da mandioca sob diferentes níveis de irrigação.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar o crescimento e os aspectos fisiológicos e produtivos da cultura da mandioca em função de níveis de irrigação na região de Rio Largo, AL.

2.2. Objetivos Específicos

Identificar os valores potenciais do índice de área foliar, altura de plantas, diâmetro e comprimento de caule e raízes da mandioca submetida a diferentes níveis de irrigação;

Quantificar o balanço hídrico da cultura da mandioca para caracterizar o déficit e o excesso hídrico durante o cultivo;

Determinar a lâmina bruta total que proporciona maior produtividade física de raízes, caule, folhas e biomassa total da mandioca;

Identificar a lâmina bruta total que proporciona a produtividade de raízes de máxima eficiência econômica da mandioca;

Obter o índice de colheita da mandioca sob níveis crescentes de irrigação;

Quantificar as trocas gasosas: taxa de fotossíntese líquida, concentração interna de CO₂, transpiração, temperatura foliar, condutância estomática e eficiência instantânea do uso da água da mandioca sob níveis de irrigação;

Mensurar a eficiência fotoquímica da mandioca em função de diferentes níveis de irrigação;

Obter o índice SPAD da mandioca submetida a níveis de irrigação.

CAPÍTULO I

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1. Aspectos Gerais

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) possui como centro de origem a Amazônia brasileira e foi disseminada por todos os continentes durante o período colonial (SILVA & MURRIETA, 2014). É uma das principais culturas alimentares do mundo, sendo destinada a alimentação humana e animal (DARYANTO et al., 2016). Pertence à família Euphorbiaceae e recebe diversas denominações de acordo com a região brasileira em que o cultivo ocorre, como: mandioca, macaxeira, aipim e tapioca. Muitas variedades recebem nomes em função de características da planta, como: cor de folhas e raízes e forma de pecíolos, caules e folhas (ALVES, 2002). Dentre as diversas variedades cultivadas no país, pode-se citar: BRS Verdinha, Campinas, Caravela, Isabel de Souza, Mani Branca e Sergipe (SILVA, 2009; MORAIS et al., 2017).

Na safra 2018, a produção mundial foi 277,80 milhões de toneladas de raízes de mandioca. Nessa safra, a Nigéria produziu 59,47 milhões de toneladas, consolidando-se como maior produtor mundial. Enquanto, o Brasil foi quarto maior produtor e produziu 17,60 milhões de toneladas de raízes, com produtividade média de 14,64 t ha⁻¹ (FAO, 2020). Dentre as regiões brasileiras, a Norte é a maior produtora nacional, com 36% da produção, seguida pela região Nordeste, que é responsável por 20% da produção. Na safra 2018, Alagoas produziu 394 mil toneladas, com rendimento médio de 11,62 t ha⁻¹, ocupando o 13º lugar no ranking dos estados brasileiros (IBGE, 2018).

No Brasil, os cultivos em sua maioria, são destinados a colheita de raízes, com ciclo de 12 a 18 meses, a depender da variedade adotada (ALVES, 2002). A mandioca na região Nordeste possui elevada importância e seus derivados são amplamente consumidos pela população local (LIMA et al., 2015). Em Alagoas, a mandiocultura é um cultivo tradicionalmente adotado por pequenos produtores, sob baixo índice tecnológico (FERNANDES et al., 2007).

O desenvolvimento da cultura é dividido em cinco fases fenológicas (CONCEIÇÃO, 1979). A fase 1 tem duração de 5 a 15 dias após o plantio (DAP) e inicia-se com o surgimento das primeiras raízes até emergir a primeira folha, que caracteriza a brotação. O início do desenvolvimento radicular e foliar caracteriza a fase 2, entre 15 e 90 DAP. Nessa fase, inicia-se o armazenamento de carboidratos nas raízes da planta de forma menos acentuada. Na fase 3 ocorre um maior crescimento do caule e folhas, formando um dossel uniforme, estendendo-se

dos 90 aos 180 DAP. As fases 4 e 5 ocorrem dos 180 aos 360 DAP, e são caracterizadas, principalmente, pelo alto armazenamento de carboidrato nas raízes, lignificação do caule e senescência acentuada de folhas.

Entender a exigência hídrica e fenologia da mandioca é fundamental para o manejo da cultura, o que possibilita estabelecer as melhores datas de plantio para coincidir a estação chuvosa da região com o período de maior exigência hídrica da cultura, que são os 5 meses após o plantio (CONCEIÇÃO, 1979).

1.2. Exigências Bioclimáticas

As relações entre elementos climáticos (chuva, temperatura e radiação solar) e produção agrícola são complexas, uma vez que fatores ambientais afetam o crescimento e desenvolvimento das plantas de diferentes formas. Desse modo, para determinar as exigências bioclimáticas de uma cultura é necessário que estudos agroclimáticos sejam complementados por pesquisas sobre as características das plantas (EL-SHARKAWY, 2007).

Em relação a mandioca, as principais regiões produtoras, no mundo, possuem precipitação pluviométrica anual entre 600 e 1500 mm, com predominância de cultivos em áreas com chuva acumulada de 800 mm anuais e estação seca bem definida (ALVES, 2002). Troccoli et al. (2014) afirmam que acumulados anuais entre 400 e 750 mm são suficientes em um ciclo de 300 dias. Apesar de Alves (2002) e Troccoli et al. (2014) estabelecerem acumulados de chuva próximos a 800 mm como suficiente para o cultivo da mandioca, El-Sharkawy (2004) relata que maiores produtividades têm sido observadas em estudos com alta disponibilidade de água. A exemplo da Tailândia, onde foi verificado que o rendimento máximo de raízes está correlacionado com acumulado de chuvas de 1.700 mm, entre o 4º e 11º meses após o plantio, período em que ocorre o maior acúmulo de carboidrato no sistema radicular da cultura.

Pelo fato das regiões produtoras se concentrarem próximas a zona equatorial (latitudes de 30º Sul a 30º Norte), locais em que na maior parte do ano há 12 horas de luz diária, ideal para a cultura, o fotoperíodo tem pouco efeito sobre a produtividade da mandioca, (DARYANTO et al., 2016). A faixa térmica propícia para o cultivo vai de 16 a 38°C, sendo a faixa tida como ideal entre 25 e 29°C. Processos físicos e químicos importantes no crescimento e desenvolvimento da cultura são influenciados pela temperatura ambiente, conforme visto na Tabela 1.1 (ALVES, 2002).

Tabela 1.1. Efeito da temperatura sobre o crescimento e desenvolvimento da cultura da mandioca.

Faixa Térmica (°C)	Processo da Cultura Afetado
< 17 ou > 37	Brotação prejudicada;
28,5 – 30	Brotação acelerada;
< 15	Crescimento de plantas inibido;
16 – 38	Crescimento normal das plantas;
25 – 29	Ótimo para o crescimento das plantas;
< 17	Redução da taxa de produção de folhas e raízes;
20 – 24	Tamanho da folha e taxa de produção foliar aumentada;
28	Queda mais rápido de folhas e redução de ramos;
25 – 30	Maiores taxas de fotossíntese em estufa;
30 – 40	Maiores taxas de fotossíntese no campo;
16 – 30	Taxa de transpiração aumenta linearmente e depois diminui.

Fonte: Alves (2002).

Em estudo na Colômbia, Irikura et al. (1979) avaliaram a produtividade agrícola de quatro variedades de mandioca sob diferentes regimes de temperaturas (20, 24 e 28 °C). E, a variedade M col 22 apresentou maior rendimento de 39,4 t ha⁻¹ sob um regime térmico de 28°C. Enquanto a M mex 59 e a M col 113 apresentaram maiores produtividades de 38,8 e 26,1 t ha⁻¹, respectivamente, sob o regime de 24°C. A variedade Popayan, obteve maior rendimento de 28,9 t ha⁻¹, em um regime térmico de 20°C. Esses resultados evidenciam a importância da temperatura sobre a produtividade agrícola da mandioca.

A radiação solar é um dos principais elementos meteorológicos atuantes em cultivos, pois afeta a temperatura do ar e do solo e participa ativamente do processo fotossintético da planta. A região equatorial do globo terrestre recebe radiação solar ideal para o crescimento e desenvolvimento da mandioca (ALVES, 2002). A região dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste brasileiro, é um exemplo de região próxima ao Equador. Ferreira Júnior (2010) observou valores diários médios na região de 20,9 MJ m⁻² (nos meses de fevereiro a abril), 14,9 MJ m⁻² (durante a estação chuvosa – de maio a agosto) e 23,3 MJ m⁻² (de setembro a janeiro), o que comprova a alta disponibilidade de radiação solar incidente para as plantas na região dos Tabuleiros Costeiros em Alagoas.

1.3. Irrigação

O estudo de aspectos ecofisiológicos de culturas agrícolas nos diversos ambientes é importante porque fatores relacionados ao clima, solo e manejo da cultura, atuam de forma

preponderante na produtividade agrícola. Na mandiocultura não é diferente, porém, pelo fato de possuir alta tolerância ao déficit hídrico, seu cultivo dar-se majoritariamente sob condições de sequeiro, o que dificulta o alcance de sua produtividade potencial (ALVES, 2002).

Nesse contexto, na busca por aumento de produtividade, a irrigação surge como alternativa viável. Os benefícios socioeconômicos proporcionados pela irrigação são diversos, destacando-se, além do aumento de produtividade, maior geração de emprego e renda no campo (AGUIAR NETTO et al., 2013). No cultivo da mandioca, a adoção de irrigação pode dobrar o rendimento em raízes quando comparado com áreas de sequeiro, além de melhorar a qualidade da matéria-prima entregue às indústrias, por aumentar o teor de amido das raízes e reduzir o teor de cianeto de hidrogênio (NAYAR et al., 1985; COELHO FILHO, 2020). Na mandiocultura diversos métodos de irrigação são empregados, os mais comuns são: aspersão, localizado e inundação (MANICKASUNDARAM et al., 2002). A potencialidade e limitação de cada método depende de fatores técnicos, econômicos e agronômicos, a junção desses fatores leva a escolha do método ideal a ser adotado no cultivo (FRIZZONE et al., 2005).

A irrigação por aspersão é caracterizada pela forma de aplicação da água, que ao atingir o ar, é fracionada em gotas menores e distribui-se sobre o terreno de maneira semelhantes à chuva. Esse método adapta-se bem as mais variadas situações da agricultura irrigada, porém, gera perda considerável de água por deriva, evaporação e escoamento superficial (AGUIAR NETTO et al., 2013).

A irrigação localizada é tida como a de maior eficácia em termos de uso da água, por aplicar água em pequenas quantidades e de forma frequente, o que gera economia, mantém o solo úmido próximo a planta e reduz a incidência de plantas invasoras na área, assegurando condições ótimas de cultivo para a mandioca (MANICKASUNDARAM et al., 2002). Por ser um método de alta eficiência, é recomendado para áreas onde há restrição na disponibilidade de água ou quando o custo para utilização da água onera muito o processo produtivo. Além disso, facilita a aplicação de fertilizantes e tratamentos culturais, reduz a exigência de mão de obra operacional, consumo de energia elétrica e potencializa o uso de terras marginais que por sua vez reduz impactos ambientais. Todavia, possui desvantagens, como: maior necessidade de manutenção, acúmulo de sais próximo às plantas e geração de resíduos não biodegradáveis (FRIZZONE et al., 2012). Dentro da irrigação localizada, destaca-se a aplicação de água por gotejamento e microaspersão. A adoção dessas formas de irrigação em cultivos de mandioca gera ganhos consideráveis em termos de produtividade quando comparado com outros métodos. Por exemplo, cultivos de mandioca na Índia, com irrigação localizada, utilizando 50% do total

de água gasto em irrigação por inundação em um ciclo da cultura da mandioca, atingiram a mesma produtividade (MANICKASUNDARAM et al., 2002).

Em relação a disponibilidade de água para a cultura, Amanullah et al. (2006) em estudo sobre níveis de irrigação (50, 75 e 100%) em função da água facilmente disponível (AFD) obtiveram a maior produtividade de raízes ($36,0 \text{ t ha}^{-1}$) sob 100% da AFD. Esses resultados são confirmados por Odunbanjo et al. (2011), que em experimento realizado na Nigéria, avaliaram diferentes regimes hídricos (0, 25, 50 e 100% da AFD) na mandioca sob irrigação localizada, e obtiveram um rendimento médio de $49,12 \text{ t ha}^{-1}$ de matéria seca sob 100% da AFD, enquanto, o tratamento 0% da AFD, apresentou $7,12 \text{ t ha}^{-1}$. Mélo Neto et al. (2018) verificaram o crescimento inicial da mandioca em função de níveis de irrigação (0, 25, 50, 75 e 100% da evapotranspiração de referência – ET_0), e concluíram que sob maiores níveis há um crescimento normal da planta, enquanto, áreas com menores níveis (0 e 25% da ET_0), geram estresse hídrico na cultura que prejudicam seu crescimento.

A lâmina líquida de água requerida pela cultura é determinada, comumente, em função da evapotranspiração da cultura (ET_C). A ET_C é a evapotranspiração que ocorre em uma grande área cultivada, livre de pragas e doenças, bem fertilizada, sem restrição de umidade do solo e em pleno desenvolvimento. É obtida, geralmente, pelo método do coeficiente de cultura, que consiste no uso de dados climáticos a partir da evapotranspiração de referência (ET_0) — evapotranspiração de um cultivo hipotética de grama com altura de 0,12 m, albedo de 0,23 e resistência de superfície igual a 70 s m^{-1} — e um coeficiente de cultura (K_C), que varia conforme o estágio de desenvolvimento da planta (ALLEN et al., 1998).

O uso do K_C de uma cultura objetiva inserir características do cultivo (propriedades do dossel e resistência aerodinâmica) na estimativa da ET_C (ALLEN et al., 1998). Doorenbos e Kassam (1979) e o Royal Irrigation Department – RID (2010), estabeleceram o K_C da cultura da mandioca em três fases, conforme é visto na Tabela 1.2.

Tabela 1.2. Fases de desenvolvimento e coeficiente de cultura (K_C) da mandioca estabelecidos por Doorenbos e Kassam (1979) e o Royal Irrigation Department – RID (2010).

CICLO	ESTÁDIOS		
	Inicial	Intermediário	Final
1º Ano ¹	0,30	0,80	0,30
2º Ano ¹	0,30	1,10	0,50
1º Ano ²	0,35	1,04	0,50

Fonte: ¹Doorenbos & Kassam (1979), ²Royal Irrigation Department (2010).

1.4. Balanço Hídrico

Balanço hídrico é a contabilidade de todos os ganhos e perdas hídricas de um solo vegetado. Nesse balanço é considerado o volume controle em função da profundidade radicular das plantas. A variação do armazenamento de água no volume de controle do solo, em determinado período, indica a entrada e saída de água no sistema (VAREJÃO-SILVA, 2002; TEODORO, 2012). As entradas de água no volume de controle do solo são assumidas, como: precipitação pluvial, irrigação e ascensão capilar. Enquanto, saídas são: evapotranspiração, escoamento superficial e drenagem (EVETT et al., 2012).

O balanço hídrico é classificado em climatológico e de cultivo. O balanço climatológico é aquele em que as entradas e saídas de água no sistema são contabilizadas em um solo vegetado por um cultivo hipotético (gramado). Enquanto, o balanço de cultivo, é feito em uma área de cultivo agrícola, em que se contabiliza as entradas e saídas, e leva em consideração o crescimento e desenvolvimento da cultura. Quando a contabilização de entrada e saída de água resulta em um saldo positivo durante um determinado período, significa que ocorreu excesso hídrico no cultivo e saldo negativo indica ocorrência de déficit. Assim, o balanço hídrico pode ser empregado para explicar ganhos e perdas em safras agrícolas (TEODORO, 2012).

1.5. Exigências edáficas e nutricionais

O sistema radicular da mandioca é a parte da planta de maior relevância comercial. Atender as exigências da cultura em relação às condições edáficas possibilita o alcance de uma maior produtividade de raízes. Para isso, o preparo do solo é uma etapa minuciosa na mandiocultura, uma vez que solos mal trabalhados, afetam diretamente a produtividade, reduzem o acúmulo de matéria seca na planta e leva a produção de raízes pouco apreciáveis comercialmente (FIGUEIREDO et al., 2014).

Em experimento para analisar o acúmulo de matéria seca em raízes de mandioca e métodos de plantio (convencional, preparo mínimo e plantio direto) em um solo de textura argilosa, Figueiredo et al. (2014) concluíram que o plantio oriundo do preparo mínimo do solo, proporciona maior incremento de matéria seca e produtividade de raízes, quando comparado com o plantio convencional utilizando maquinário pesado e plantio direto. Os pesquisadores atribuíram este ganho produtivo ao preparo do solo, que mesmo sendo mínimo, garantiu a preservação de propriedades do solo em relação ao método convencional. Enquanto, o plantio direto resulta em um aumento considerável da resistência à penetração das raízes no solo, o que proporciona uma parte aérea vigorosa, porém, um sistema radicular pequeno, o que resulta

baixa produtividade de raízes. Quanto a textura do solo ideal para a mandioca, Mattos et al. (2003) afirmam que solos arenosos, profundos e soltos, são mais adequados para o cultivo por serem bem drenados e facilitarem a colheita, além de possibilitarem o crescimento radicular adequado da cultura.

A fertilidade do solo é fator limitante para uma maior produtividade da mandioca. Mundialmente o cultivo da mandioca ocorre em solos pobres, com baixa disponibilidade de nutrientes essenciais e ácidos. Os principais nutrientes requeridos pela mandioca são: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), sendo este último, o nutriente exigido em maior quantidade, sua falta é apontada como o principal fator que limita o rendimento satisfatório de raízes com padrão comercial (ALVES, 2002; EZUI et al., 2016; MUNYAHALI et al., 2017). Solos pobres em potássio podem levar a diminuição no acúmulo de matéria seca em raízes de mandioca de até 8,0 t ha⁻¹ (EZUI, et al., 2016). Estima-se que para uma produtividade de 25 t ha⁻¹ de raízes, a cultura extraia cerca de 146 kg de K, 123 kg de N, 46 kg de Ca, 27 kg de P e 20 kg de Mg, o que evidencia a maior exigência de potássio pela cultura (SOUZA, 2009).

Quanto ao teor de alumínio no solo (acidez), esse elemento tóxico influencia diretamente a produtividade da mandioca, reduz o crescimento radicular da planta e acarreta amarelecimento entre as nervuras foliares em folhas velhas, o que prejudica o processo fotossintético da planta (OTSUBO et al., 2002).

1.6. Aspectos Ecofisiológicos

O estudo do comportamento fisiológico de culturas agrícolas, geralmente, tem como objetivo aumentar a produtividade, aprimorar características genéticas e a adaptabilidade de cultivares aos diversos ambientes. Embora pesquisas laboratoriais sejam importantes para elucidar mecanismos fisiológicos específicos de plantas, pesquisas em campo tornam-se mais representativas por gerar dados sobre o potencial real de culturas sob condições naturais, bem como suas respostas a fatores bióticos e abióticos (LONG et al., 2006). Pesquisas sobre o comportamento fisiológico de plantas cultivadas irrigadas em vasos e estufas, pode ser um desperdício de tempo e recursos porque na maioria dos casos, os resultados não podem ser extrapolados para descrever o que ocorre em ambientes naturais. Logo, pesquisas de campo são melhores para explicar o comportamento fisiológico de plantas e a variação da disponibilidade de água no ambiente, em relação a produtividade (EL-SHARKAWY, 2007).

A mandioca possui mecanismo de fixação de carbono C₃, porém, em suas folhas, a atividade da enzima PEP carboxilase é superior ao observado em espécies tipicamente C₃. A enzima rubisco também apresenta elevada atividade. Tais características conferem a mandioca

maior afinidade enzimática pelo substrato, o que permite que realize a fotossíntese com pequena abertura estomática e, conseqüentemente, com baixa perda de água. Essa característica classifica a cultura além de planta C₃, como uma planta intermediária entre os ciclos C₃ e C₄ (EL-SHARKAWY, 2007).

Dentre os mecanismos de tolerância ao estresse hídrico da mandioca, destaca-se a capacidade de alongamento radicular através de associação com fungos micorrízicos e aumento da área foliar do dossel em curto espaço de tempo. Esse último mecanismo, objetiva compensar a perda de matéria seca devido a estresses prolongados. Quando sob estresse hídrico, estágios iniciais de crescimento e desenvolvimento da mandioca são os mais sensíveis, principalmente, pelo fato das plantas não estarem totalmente estabelecidas no campo e haver pouco tecido de reserva (CONCEIÇÃO, 1979; ALVES, 2002).

A falta de água prolongada gera desidratação das folhas de mandioca e isso leva ao fechamento estomático como resposta primária que reduz a perda de água através da transpiração, conseqüentemente, há aumento na eficiência do uso da água. Apesar do aumento na eficiência do uso da água, o fechamento estomático compromete a capacidade fotossintética da planta, uma vez que a fixação de CO₂ do ar é reduzida e resulta queda na produção de fotoassimilados (EL-SHARKAWY, 2007). Quando há condições ótimas de umidade no solo, a taxa fotossintética da mandioca varia de 20 a 35 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, com ponto de saturação a luz em torno de 2.000 $\mu\text{mol de PAR m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (ALVES, 2002).

O Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT (1989) em estudo sobre o comportamento fisiológico de variedades de mandioca, verificou a condutância estomática e taxa fotossintética da cultura em função de irrigação plena e déficit hídrico dos 60 aos 180 DAP. De maneira geral, plantas sob irrigação plena obtiveram condutância estomática e taxa fotossintética superiores em 43 e 21%, respectivamente, quando comparada a plantas em sequeiro. Valores considerados satisfatórios e que caracteriza efeito significativo da disponibilidade de água sobre a abertura estomática e fotossíntese da mandioca.

Santanoo et al. (2019) avaliaram a eficiência fotoquímica da mandioca em função da sazonalidade das chuvas na Tailândia, verificaram que na estação seca a eficiência quântica efetiva média de genótipos de mandioca é 0,58, enquanto na estação chuvosa, o valor médio aumenta para 0,70, o que indica maior eficiência quântica da cultura sob uma maior disponibilidade de água.

É perceptível que a produtividade da mandioca sob diferentes níveis de água está intimamente ligada ao comportamento fisiológico da planta. E, compreender tal comportamento é importante para seleção de cultivares tolerantes ao estresse hídrico por falta

e excesso de água no solo, além da aplicação do melhor manejo da cultura sob ambientes estressantes (EL-SHARKAWY, 2007).

1.7. Componentes de Produção

A raiz que é o órgão vegetal de maior interesse econômico da mandioca no Brasil, deve apresentar características que atendam a exigência da indústria e de consumidores. Essas características são expressas pelos componentes de produção e composição química como: número, comprimento, diâmetro, massa úmida e seca de raízes, teor de compostos cianogênicos, fibras e teor de amido. Por isso, esses são os principais objetos de estudos em relação a mandioca em todo o mundo (FIGUEIREDO et al., 2017).

As raízes de mandioca acumulam quantidade considerável de amido no parênquima e esse tecido vegetal é responsável por até 85% do peso radicular. O tamanho, forma e peso das raízes, são determinados, principalmente, pela variedade plantada e condições ambientais. Sob condições normais, as raízes de mandioca podem chegar a 100 cm de comprimento e o diâmetro vai de 3 a 15 cm (ALVES, 2002). Dentre as condições ambientais que atuam sobre componentes de produção da mandioca, destaca-se a disponibilidade de água e solo de cultivo. Pesquisadores relatam que o estresse hídrico pode diminuir a qualidade das raízes, interferindo em seu comprimento, diâmetro e peso (DARYANTO et al., 2016; EZUI et al., 2018).

Além das raízes, as folhas possuem interesse econômico, sendo destinadas a alimentação humana em diversas regiões do mundo (MUNYAHALI et al., 2017). As folhas de mandioca são lobadas, palmadas e alternadas, seu tamanho pode variar em função das condições de cultivo e estresse hídrico e nutricional podem reduzir seu tamanho. Sob condições normais, os pecíolos das folhas atingem até 30 cm e o comprimento do lobo principal pode chegar a 20 cm. O caule da mandioca pode ser ereto ou curvo, clorofilado quando jovem e lignificado no final do ciclo da planta, sendo utilizado, principalmente, na alimentação animal (ALVES, 2002).

A razão entre a área de solo e cobertura vegetal (folhas) da planta é denominada de índice de área foliar (IAF). Na mandioca, há uma correlação positiva entre o IAF e a produtividade de raízes e esse índice é importante para determinar a taxa de crescimento e produtividade da cultura. O IAF acima de 3,5 tende a proporcionar massa foliar abundante na planta por um maior período, enquanto, IAF superiores a 5,0 aceleram a senescência foliar. Essa característica é importante, principalmente, em cultivos destinados a colheita de folhas (ALVES, 2002).

Por ser uma espécie de grande variabilidade genética, os componentes de produção da mandioca podem variar consideravelmente. Portanto, a realização de estudos que indiquem o potencial produtivo de cultivares que se adaptem bem as diversas condições edafoclimáticas e aumentem a qualidade e produtividade de componentes de produção são bastante relevantes (DARYANTO et al., 2016).

1.8. Referências Bibliográficas

AGUIAR NETTO, A. O. **Princípios agronômicos da irrigação**. Brasília, DF. 2013.

ALLEN R. G.; PEREIRA L. S.; RAES D.; SMITH M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: Food Agriculture Organization of the United Nations: v. 301, 1998.

ALVES, A. A. C. Cassava botany and physiology. *In*: Hillocks, R.J., Thresh, J.M., Bellotti, A.C. (Eds.), **Cassava: Biology, Production and Utilization**. p. 67–89, 2002.

AMANULLAH, M. A.; YASSIN, M. M.; VAIYAPURI, K.; SOMASUNDARAM, E.; SATHYAMOORTHY, K.; PADMANATHAN, P. K. Growth and yield of cassava as influenced by drip irrigation and organic manures. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 2, p. 554-558, 2006.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT). **Cassava Program Annual Report for 1987-1989**. 1989.

COELHO FILHO, M. A. **Irrigação da cultura da mandioca**. EMBRAPA, Cruz das Almas, 2020. 12 p. (Comunicado Técnico 172).

CONCEIÇÃO, A. J. **A mandioca**. Cruz das Almas. UFBA/EMBRAPA/BNB/BRASCAN NORDESTE, 1979.

DARYANTO, S.; WANG, L.; JACINTHE, P.A. Drought effects on root and tuber production: A meta-analysis. **Agricultural Water Management**, v. 176, p. 122-131, 2016.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Irrigation and drainage paper, 1979.

DUARTE, F. F., GUIMARÃES JÚNIOR, R., VIEIRA, E. A., FIALHO, J. F., MALAQUIAS, J. V. Produtividade e valor nutricional da parte aérea e de raízes tuberosas de oito genótipos de mandioca de indústria. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 17, 4p. 1-12, 2016.

EL-SHARKAWY, M. A. Cassava biology and physiology. **Plant Molecular Biology**, v.56, p.481-501, 2004.

EL-SHARKAWY, M.A. Physiological characteristics of cassava tolerance to prolonged drought in the tropics: Implications for breeding cultivars adapted to seasonally dry and semiarid environments. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, p.257–286, 2007.

EVETT, S. R.; SCHWARTZ, R.C.; CASANOVA, J. J.; HENG, L. K. Soil water sensing for water balance, ET and WUE. **Agricultural Water Management**, v. 104, p. 1–9, 2012.

EZUI, K. S.; FRANKE, A. C.; MANDO, A.; AHIABOR, B. D. K.; TETTEH, F. M.; SOGBEDI, J.; JANSSEN, B. H.; GILLER, K. E. Fertiliser requirements for balanced nutrition of cassava across eight locations in West Africa. **Field Crops Research**, v. 185, p. 69-78, 2016.

EZUI, K.S.; LEFFELAARB, P. A.; FRANKE, A. C.; MANDOA, A.; GILLE, K. E. Simulating drought impact and mitigation in cassava using the LINTUL model. **Field Crops Research**, v. 219 p. 256–272, 2018.

FERNANDES, M. F.; PROCÓPIO, S. O; BASTOS, D. F.; MACHADO, T. N. **Alterações na fertilidade química dos solos em áreas de produção familiar de mandioca no território do alto sertão de alagoas**. In: XII Congresso Brasileiro de Mandioca, 2007, Paranaíba. Anais... Paranaíba, 2007.

FERREIRA JUNIOR, R. A. **Crescimento de variedades RB de cana-de-açúcar irrigadas e fotossíntese modelada pela radiação solar**. 2010. 68f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo – AL, 2010.

FIGUEIREDO, P. G.; BICUDO, S. J.; MORAES-DALLAQUA, M. A.; TANAMATI, F. Y.; AGUIAR, E. B. Componentes de produção e morfologia de raízes de mandioca sob diferentes preparos do solo. **Bragantia**, v. 73, p. 357-364, 2014.

FIGUEIREDO, P. G.; BICUDO, S. J.; CHEN, S.; FERNANDES, A. M.; TANAMATI, F. Y.; DJABOU-FONDJO, A. S. M. Effects of tillage options on soil physical properties and cassava-dry-matter partitioning. **Field Crops Research**, v. 204, p. 191-198, 2017.

FRIZONEE, J. A. **Análise de decisão econômica em irrigação**. Piracicaba: ESALQ, 2005.

FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. **Microirrigação: Gotejamento e Microaspersão**. Maringá: UEM, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geográfico e Estatística. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/188#resultado>. Acesso em: 06 nov. 2018.

IRIKURA, Y.; COCK, J. H.; KAWANO, K. The physiological basis of genotype-temperature interactions in cassava. **Fiel Crops Research**, v. 2, p. 227-239, 1979.

LIMA, C. L. Z.; ANJOS, E. U.; SANTIAGO, A. D. **Avaliação de variedades de mandioca tipo mesa**. In: XVI Congresso Brasileiro de Mandioca, 2015, Foz do Iguaçu. Anais...Foz do Iguaçu, novembro de 2015.

LONG, S.P.; AINSWORTH, E.A.; LEAKEY, A.D.B; NÖSBERGER, J.O.R.T. Food for thought: lower-than-expected crop yield stimulation with rising CO₂ concentration. **Science** v.312, p.1918-1921, 2006.

LOPES, A. C.; VIANA, A. E. S.; MATSOMOTO, S. N.; CARDOSO JUNIOR, N. S.; JOSÉ, A, R. Complementação da irrigação e épocas de colheita de mandioca cv. Coqueiro no planalto de conquista, BA. **Ciência e agrotecnologia**, v. 34, p. 579-587, 2010.

MANICKASUNDARAM, P.; SELVARAJ. P. K.; KRISHNAMOORTHY, V. V.; GNANAMURTHY, P. Drip irrigation and fertigation studies in tapioca. **Madras Agric. J.**, v. 89, p. 466-468, 2002.

MATTOS, P. L. R.; CARDOSO, E. M. R. Cultivo da mandioca para o estado do Pará. **Embrapa**. 2003. Disponível em: https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_para/solos.htm> Acesso em: 12 mai. 2018.

MÉLO NETO, D. G.; COELHO, D. G.; ANDRADE, M. T.; ALVES, J. O. Initial growth of cassava plants cv. Mossoró under different water regimes. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 12, p. 191-199, 2018.

MORAIS, L.; SANTIAGO, A. D.; Z. CAVALCANTE, M. Q. B. Phenotypic stability in cassava estimated by the AMMI analysis with supplementary genotypes. **Crop Breed. Appl. Biotechnol.** v.17, p. 366-372, 2017.

MUNYAHALI, W.; PYPERS, P.; SWENNEN, R.; WALANGULULU, J.; VANLAUWE, B. Responses of cassava growth and yield to leaf harvesting frequency and NPK fertilizer in South Kivu, Democratic Republic of Congo. **Fiel Crops Research**, v. 214, p. 194-201, 2017.

NAYAR, T. V. R.; SUNITHA, S.; GEORGE, J.; SREEKUMAR, J. Productivity of cassava under rainfed and irrigated conditions. **J. Root Crops**, v. 11, p. 37-44, 1985.

ODUBANJO, O.O.; OLUFAYO, A. A.; OGUNTUNDE, P. G. Water use, growth, and yield of drip irrigated cassava in a humid tropical environment. **Soil Water Res.**, v.6 p.10-20, 2011.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). **Review of cassava in Africa: with country case studies on Nigeria, Ghana, the United Republic of Tanzania, Uganda and Benin.** Rome: 2005.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 07 jul. 2020.

OTSUBO, A. A.; LORENZI, J. O. **Cultivo da mandioca na região centro-sul do Brasil.** EMBRAPA, Dourados, 2002. 121 p. (Comunicado Técnico, 3).

PIPATSITTEE, A; EIUMNOH, A.; PRASEARTKUL, P.; TAOTA, K; KONGPUGDEE, S.; SAKULLEERUNGROJ, K.; CHA-UM, S. Application of infrared thermography to assess cassava physiology under water deficit condition. **Plant Production Science**, v.21, p.398-406, 2018.

ROYAL IRRIGATION DEPARTMENT (RID). Crop coefficient. Tailândia, 2010. Disponível em: http://water.rid.go.th/hwm/cropwater/CWRdata/Kc/kc_th.pdf. Acesso em: 04 abr. 2019.

SALLA, D. A.; FURLANETO, F. P. B.; CABELLO, C.; KANTHACK, R. A. D. Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p.444-448, 2010.

SANTIAGO, A. D.; MORAIS, L. K.; CAVALCANTE, M. H. B. **Interação Genótipos x Época x Ano de Quatro Genótipos de Mandioca no Município de Junqueiro, Alagoas**. In: XVI Congresso Brasileiro de Mandioca, 2015, Foz do Iguaçu. Anais...Foz do Iguaçu, novembro de 2015.

SANTANOO, S.; VONGCHAROEN, K.; BANTERNG, P. Seasonal Variation in Diurnal Photosynthesis and Chlorophyll Fluorescence of Four Genotypes of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) Under Irrigation Conditions in a Tropical Savanna Climate. **Agronomy**, v.9, p.1-27, 2019.

SILVA, J. **Relato de elaboração do sistema de produção de mandioca para o extremo Sul da Bahia**. In: XIII Congresso Brasileiro de Mandioca, 2009, Botucatu. Anais... Botucatu, 2009.

SILVA, H. A.; MURRIETA, R. S. S. Mandioca, a rainha do Brasil? Ascensão e queda da *Manihot esculenta* no estado de São Paulo. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 9, p. 37-60, 2014.

SILVA, V. P. R.; PEREIRA, E. M. M.; AZEVEDO, SOUSA, F. A. S.; SOUSA, I. F. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.131–138, 2011.

SOUZA, L. S.; SILVA, J.; SOUZA, L. D. **Recomendação de calagem e adubação para o cultivo da mandioca**. EMBRAPA, Cruz das Almas, 2009. 6 p. (Comunicado Técnico, 133).

TEODORO, I. **Respostas técnico-econômicas da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e adubação nitrogenada**. 2012. 100f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB, 2012.

TROCCOLI, A.; DUBUS, L.; HAUPT, S.E. **Weather Matters for Energy**. New York: Springer, 2014.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Brasília: INMET, 2000.

VERISSIMO, V.; CRUZ, S. J. S; PEREIRA, F. F. M.; SILVA, P. B.; TEXEIRA, J. D.; FERREIRA, V. M.; ENDRES, L. Trocas gasosas e crescimento vegetativo de quatro variedades de mandioca. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v.6, p.232-240, 2010.

CAPÍTULO II

CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA MANDIOCA SOB NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO NOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS

Resumo: Neste trabalho, o objetivo foi avaliar o crescimento e a produtividade da mandioca irrigada nos Tabuleiros Costeiros alagoanos. O experimento foi realizado no *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). O plantio foi feito em blocos casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram níveis de irrigação em função da evapotranspiração da cultura – ET_C ($L_0 = 0\%$ (sequeiro), $L_1 = 40\%$, $L_2 = 80\%$, $L_3 = 120\%$, $L_4 = 160\%$ e $L_5 = 200\%$ da ET_C). As variáveis analisadas foram: altura de plantas, número de folhas, comprimento e diâmetro do caule, número, diâmetro e comprimento de raízes comerciais, índice de área foliar (IAF), produtividade de matéria úmida e seca de: raiz, caule e folha, biomassa total (raiz, caule e folha) fresca e seca por hectare, lâmina de irrigação que proporciona a produtividade física máxima e de máxima eficiência econômica e índice de colheita. A lâmina total foi definida como o total da irrigação mais a chuva efetiva. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância ($p < 0,05$) e foram significativos para: comprimento e produtividade de raízes comerciais, índice de área foliar, produtividade de raízes comerciais, biomassa total, produtividade de matéria seca de raízes e total e índice de colheita. A evapotranspiração anual da cultura da mandioca, em Rio Largo, AL, foi 1.030 mm e o déficit hídrico, nas áreas de sequeiro, chegou a 508 mm porque a chuva efetiva foi apenas 522 mm. O IAF foi de 7,6 e o comprimento de raízes comerciais máximo, 49 cm. As produtividades de raízes e biomassa total máximas físicas foram 94 e 149 t ha⁻¹, respectivamente. A lâmina total de máxima eficiência econômica média, com os preços da tonelada de R\$ 180,00 a 400,00, foi 911 mm que produziu 94 t ha⁻¹ de raízes de mandioca. Enquanto, a produtividade máxima de matéria seca de raízes e total foram 47 e 69 t ha⁻¹, o maior índice de colheita foi de 0,66 em 12 meses de cultivo. Portanto, a irrigação adequada aumenta o crescimento das plantas, a produtividade de raízes e biomassa total em 194 e 99% e é economicamente viável para cultura da mandioca na região de Rio Largo, AL.

Palavras-chave: Índice de área foliar; comprimento de raízes; biomassa total; eficiência econômica; matéria seca; índice de colheita.

CASSAVA GROWTH AND PRODUCTIVITY UNDER IRRIGATION LEVELS ON THE ALAGOAS COASTAL PLATEAUS

Abstract: In this work, the objective was to evaluate the growth and productivity of irrigated cassava in the Coastal Plateaus of Alagoas. The experiment was carried out at the *Campus* of Engineering and Agricultural Sciences (CEAS) of the Federal University of Alagoas (FUAL). The statistical design adopted was randomized blocks, with six treatments and four replications. The treatments were irrigation levels as a function of crop evapotranspiration – ET_C ($L_0 = 0\%$ (rainfed), $L_1 = 40\%$, $L_2 = 80\%$, $L_3 = 120\%$, $L_4 = 160\%$ and $L_5 = 200\%$ of ET_C). The variables analyzed were: plant height, number of leaves, stem length and diameter, number, diameter and length of commercial roots, leaf area index (LAI), wet and dry matter productivity of: root, stem and leaf, total biomass (root, stem and leaf) fresh and dry per hectare, irrigation depth that provides maximum physical productivity and of maximum economic efficiency and harvest index. The total depth was defined as the total irrigation plus the effective rain. The data obtained were submitted to analysis of variance ($p < 0.05$) and were significant for: length of commercial roots, leaf area index, total biomass, root and total dry matter productivity and harvest index. The annual evapotranspiration of the cassava crop, in Rio Largo, AL, was 1,030 mm and the water deficit, in the rainfed areas, came to 508 mm because the effective rain was only 522 mm. The maximum LAI was 7.6, the maximum length of commercial roots, 49 cm, the highest root yields and total biomass were 94 and 149 t ha⁻¹, respectively. The total depth of maximum mean economic efficiency, with prices from R\$ 180.00 to 400.00 reais per tonnes of cassava, was 911 mm that produced 94 t ha⁻¹ of cassava roots. Meanwhile, the maximum root and total dry matter productivity were 47 and 69 t ha⁻¹, respectively, the highest harvest index was 0.66 in 12 months of cultivation. Therefore, adequate irrigation increases the growth of the plants, root productivity and total biomass by 194 and 99% and is economically viable for cassava cultivation in the region of Rio Largo, AL.

Keywords: Leaf area index; root length; total biomass; economic efficiency; dry matter; harvest index.

2.1. INTRODUÇÃO

A mandioca está entre as principais culturas agrícolas do mundo, com destaque por sua importância socioeconômica. Devido sua capacidade de tolerar condições edafoclimáticas desfavoráveis, como baixos índices pluviométricos, solos ácidos e pobres nutricionalmente, seu cultivo ocorre, principalmente, sob baixo índice tecnológico (DARYANTO et al., 2016). Na safra 2018, o Brasil produziu 17,6 milhões de toneladas de raízes de mandioca, com produtividade média de 14,64 t ha⁻¹. A região Nordeste foi a segunda maior produtora dentre as regiões nacionais, sendo responsável por 20% da produção nacional. Nessa safra, Alagoas produziu 394 mil toneladas de raízes de mandioca, com rendimento de 11,62 t ha⁻¹, sendo o 13º maior produtor estadual brasileiro (IBGE, 2018).

A região dos tabuleiros costeiros em Alagoas, possui clima favorável para o cultivo da mandioca, ao contrário de outras microrregiões do Nordeste brasileiro, por possuir disponibilidade térmica adequada (temperatura média 25°C) e precipitação pluvial anual (1.800 mm) suficiente para suprir a demanda hídrica da cultura. Porém, a distribuição das chuvas ocorre de forma sazonal, havendo uma estação seca em parte do ano que justifica a adoção da irrigação em cultivos dessa região (SOUZA et al., 2005).

A adoção de irrigação para atender a demanda hídrica da mandioca é uma técnica promissora nas principais regiões produtoras do mundo (XIE et al., 2017), principalmente, no Nordeste brasileiro, em que grande parte da área plantada é de sequeiro. Na mandiocultura diversos métodos de irrigação são empregados, sendo os mais comuns: aspersão, localizado e inundação (MANICKASUNDARAM et al., 2002). A potencialidade e limitação de cada método depende de fatores técnicos, econômicos e agrônômicos, a junção desses fatores leva a escolha do método ideal a ser adotado no cultivo (FRIZZONE et al., 2005).

Cultivos de mandioca em sequeiro aumentam a suscetibilidade da mandioca a déficits hídricos prolongados que podem reduzir a produtividade da cultura em até 59% (EZUI et al.; 2018). Enquanto, cultivos irrigados tem potencial de minimizar as perdas ocasionadas por veranicos, principalmente, em fases da cultura que são mais sensíveis ao déficit hídrico, assim como nos primeiros cinco meses após o plantio (período crítico), período de formação das primeiras raízes verdadeiras e início do armazenamento de carboidratos (ALVES, 2002).

Além disso, o baixo índice tecnológico empregado em cultivos alagoanos (FERNANDES et al., 2007) e a adoção de irrigação de forma empírica são problemas comuns, tanto no âmbito local como mundial, que podem gerar desperdício de água e salinização de solos em locais onde há o uso de água de baixa qualidade. Assim, o planejamento e utilização de métodos e manejos de irrigação eficientes são importantes na otimização dos sistemas

agrícolas e, conseqüentemente, aumento da produtividade de culturas, como a mandioca, que são bastante expressivas para o agronegócio mundial (HARRISON, 2018).

Nessa perspectiva, é necessário desenvolver pesquisas que busquem aumentar a eficiência do uso da água e a produtividade de cultivos de mandioca na região dos tabuleiros costeiros de Alagoas. Por isso, o objetivo, nesse trabalho, foi avaliar o crescimento e produtividade da mandioca sob níveis de irrigação na região dos Tabuleiros Costeiros alagoanos.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no *Campus* de Engenharia e Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (9°27'58,7" S; 35°49'47,2" W; 127 m), região dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste brasileiro, município de Rio Largo, Alagoas. De acordo com classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955), o clima da região é úmido, megatérmico, com deficiência de água moderada no verão e grande excesso de água no inverno. A precipitação pluvial média anual é 1.800 mm, a temperatura do ar varia de 19,3°C (Agosto) a 31,7°C (Janeiro), com média anual de 25,4 °C e a umidade relativa do ar média mensal fica acima de 70% (SOUZA et al., 2005). O solo da área experimental é classificado como Latossolo amarelo coeso argisólico de textura médio-argilosa, com as características físico-hídricas e granulométricas apresentadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Características físico-hídricas e granulométricas do solo da área experimental.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICAS ¹	VALORES
Capacidade de Campo (m ³ m ⁻³)	0,244
Ponto de Murcha Permanente (m ³ m ⁻³)	0,147
Densidade Volumétrica (Mg m ⁻³)	1,50
Porosidade Total (m ³ m ⁻³)	0,423
Velocidade de Infiltração Básica (mm h ⁻¹)	52,00
GRANULOMETRIA (g kg) ²	CAMADA DE 0 – 20 cm
Areia	540,00
Silte	300,00
Argila	160,00

Fonte: ¹Carvalho (2003), ²Autor (2021).

A adubação de fundação e cobertura da mandioca foram realizadas em função da estimativa de absorção de nutrientes, conforme Souza et al. (2009). Aplicou-se 123 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), 27 kg ha⁻¹ de fósforo (P) e 146 kg ha⁻¹ de potássio (K), sendo as fontes ureia (45% de N), superfosfato simples (19% de P₂O₅) e cloreto de potássio (57,8% K₂O), respectivamente. Essas informações da composição dos adubos foram observadas nos rótulos dos produtos comerciais. A adubação de cobertura foi parcelada em duas aplicações, aos 45 e 90 DAP. As características químicas do solo da área de cultivo encontram-se na Tabela 2.2.

Tabela 2.2. Propriedades químicas do solo da área experimental.

VARIÁVEL	RESULTADO	VARIÁVEL	RESULTADO
pH em água	5,8	SB (soma de bases)	4,5
Fósforo (ppm)	37	C.T.C. Efetiva	4,6
Potássio (ppm)	111	V (%)	48,6
Ca + Mg (meq/100 ml)	4,1	M (%)	1,3
Ca (meq/100 ml)	2,4	M.O. Total (%)	2,3
Mg (meq/100 ml)	1,7	Fe (ppm)	103,8
Na (ppm)	36	Cu (ppm)	0,46
Al (meq/100 ml)	0,06	Zn (ppm)	4,0
Al + H (meq/100 ml)	4,8	Mn (ppm)	11,3

Fonte: Autor (2021).

O plantio ocorreu em junho de 2019, no espaçamento de 1,0 x 0,5 metros para formar uma população de 20 mil plantas por hectare. A variedade de mandioca utilizada foi a Caravela, de ciclo precoce a intermediário (12 a 18 meses), alta produtividade e tolerância média a pragas e doença (SILVA et al., 2009). Utilizou-se manivas sementes com 20 cm de comprimento e 5 gemas. Após o plantio, foi aplicado herbicida pré-emergente a base do ingrediente ativo Flumioxazina (200 g p.c./ha, 400 L de calda/ha).

O delineamento experimental adotado foi blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. Os tratamentos foram seis níveis de irrigação: $L_0 = 0\%$ (sequeiro), $L_1 = 40\%$, $L_2 = 80\%$, $L_3 = 120\%$, $L_4 = 160\%$ e $L_5 = 200\%$ da ET_C , em função da evapotranspiração da cultura (ET_C), totalizando 24 parcelas experimentais de 6,0 x 8,0 metros (48 m²). A área total do experimento foi 1.740 m². A evapotranspiração da cultura (ET_C) foi obtida através da Equação 2.1.

$$ET_C = ET_0 * K_C \quad (2.1)$$

em que, ET_0 é a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith-FAO (ALLEN et al., 1998) e K_C é o coeficiente da cultura.

A aplicação dos tratamentos (irrigação) foi realizada a partir de outubro de 2019 a março de 2020, período seco da região. No período de irrigação, o K_C da mandioca adotado foi 1,0 porque a cultura encontrava-se na fase intermediária de crescimento e desenvolvimento. Na fase inicial e final do ciclo da cultura, o K_C da mandioca é 0,35 e 0,45, respectivamente, conforme o Royal Irrigation Department – RID (2010).

A irrigação foi realizada com microaspersores espaçados em 2,0 x 3,0 metros, com vazão média de 50 L h⁻¹ e intensidade de aplicação de 8,33 mm h⁻¹. O turno de rega foi de 3

dias. As chuvas ocorridas durante o período de irrigação foram descontadas da água aplicada. O balanço hídrico do cultivo foi realizado pelo método de Thornthwaite e Mather, em escala decendial, conforme Pereira et al. (2002). A chuva efetiva foi obtida através da subtração do excesso hídrico, obtido pelo balanço hídrico da cultura, da chuva total. A lâmina de irrigação total foi definida como a água aplicada via irrigação mais chuva efetiva. Os dados meteorológicos do período de cultivo foram cedidos pelo Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia (LIA) do CECA/UFAL, que gerencia uma estação agrometeorológica automática (Micrologger – CR 1000, Campbell Scientific, Logan, Utah) localizada ao da área experimental.

A colheita da área experimental foi realizada em junho de 2020 (355 DAP) e em três plantas da área útil (10 m²) de cada parcela foram avaliadas as seguintes variáveis: altura de plantas (AP, cm), número de folhas (NF), comprimento do caule (CC, cm), diâmetro do caule (DC, mm), número de raízes comerciais (NRC), diâmetro de raízes (DR, mm), comprimento de raízes comerciais (CR, cm) e índice de área foliar (IAF). A produtividade de raízes comerciais (PR, t ha⁻¹), produtividade de caule (PC, t ha⁻¹), produtividade de folhas (PF, t ha⁻¹), produtividade de biomassa total (Raiz, Caule e Folha – BT, t ha⁻¹), produtividade de matéria seca das raízes (PMSR, t ha⁻¹), produtividade de matéria seca do caule (PMSC, t ha⁻¹), produtividade de matéria seca das folhas (PMSF, t ha⁻¹), produtividade de matéria seca total (PMST, t ha⁻¹) e índice de colheita (IC) foram estimadas com base nas plantas colhidas em toda área útil de cada parcela.

O IAF foi obtido em intervalos bimestrais durante o ciclo da cultura, com auxílio do aparelho LAI 3100 (Modelo Li-Cor, Lincoln, Nebraska, EUA). Para isso, foram retiradas folhas de uma planta da área útil, em seguida submetidas ao aparelho. Os valores de área foliar (AF cm²) obtidos foram utilizados para estimativa da razão entre área de solo e cobertura vegetal (IAF).

As medidas de altura, comprimento, diâmetro foram realizadas com auxílio de trena métrica e paquímetro digital. A altura de plantas foi medida da superfície do solo ao ápice da planta, enquanto, o comprimento do caule foi medido do nível do solo à inserção da última folha. O diâmetro do caule foi medido 30 cm acima do nível do solo. O diâmetro de raízes foi obtido na região central das raízes. As pesagens de raiz, caule e folha foram feitas em balança com precisão de 0,001g. A matéria seca foi obtida através de secagem de amostras em estufa de circulação de ar forçado, com temperatura de 65°C, por 72 horas, conforme Sagrilo et al. (2008). O índice de colheita de raízes comerciais foi obtido com a razão da massa de raízes e

pela massa total da planta. Considerou-se raízes comerciais, aquelas com diâmetro maior que 2 cm e comprimento superior a 10 cm, conforme Tironi et al. (2015).

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos pelo teste F ($p < 0,05$), foram submetidos a análise de regressão. Os coeficientes das regressões tiveram sua significância verificada pelo teste t ($p < 0,05$).

A análise da função de produção de respostas da mandioca às lâminas totais de irrigação do experimento foi realizada por curvas de regressão polinomial de segundo grau, semelhante a Equação 2.2.

$$Y = b_0 + b_1x + b_2x^2 \quad (2.2)$$

em que, Y é a produtividade agrícola da mandioca ($t \text{ ha}^{-1}$); x é a lâmina de irrigação total e b_0 , b_1 e b_2 são os coeficientes da equação. A escolha do tipo de regressão foi baseada na que melhor representou os resultados e o coeficiente de determinação (R^2) foi o principal parâmetro de decisão.

A análise física da produção para a estimativa da lâmina de irrigação total que proporciona a produtividade máxima foi feita igualando-se a zero a primeira derivada da Equação 2.2, conforme as Equações 2.3, 2.4 e 2.5.

$$Y = b_1 - 2b_2x \text{ (primeira derivada da equação 2.2)} \quad (2.3)$$

$$\text{igualando-se a zero, se tem: } b_1 - 2b_2x = 0,0 \quad \therefore \quad -2b_2x = -b_1 \quad (2.4)$$

$$X_{MÁX} = \frac{b_1}{2b_2} \quad (2.5)$$

em que, $X_{MÁX}$ é a quantidade de insumo (lâmina total de irrigação) que proporciona a produtividade máxima ($t \text{ ha}^{-1}$).

A produtividade máxima ($Y_{MÁX}$) foi calculado pela Equação 2.6.

$$Y_{MÁX} = b_0 - \frac{b_1^2}{4b_2} \quad (2.6)$$

A análise econômica da produção de mandioca foi realizada de acordo com o preço do insumo (milímetro de água) aplicado e o preço do produto (tonelada de raízes de mandioca). A lâmina de irrigação de máxima eficiência econômica foi calculada pela Equação 2.7.

$$W = \frac{C_w - P_i b_1}{2 P_i b_2} \quad (2.7)$$

em que, W é a quantidade de insumo (lâmina de irrigação total) que proporciona a produtividade de máxima eficiência econômica; C_W é o custo do insumo; P_i é o preço da raiz de mandioca e b_1 e b_2 são os coeficientes da equação de produção.

O preço do milímetro de água aplicado (R\$ mm⁻¹) foi calculado com base nos custos de implantação de um hectare de mandioca irrigado por aspersão convencional. Os preços dos materiais utilizados para o sistema de irrigação foram obtidos em empresas que comercializam equipamentos para irrigação em Arapiraca, AL, em dezembro de 2020 (Tabela 2.3).

Tabela 2.3. Demonstrativo de valores para cálculo do preço do milímetro de água aplicada na cultura da mandioca por aspersão convencional.

PREÇOS UNITÁRIOS (R\$/UNID.)			
ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	R\$/UNID.
01	Energia Elétrica ¹	R\$ kW ⁻¹ h ⁻¹	0,47
02	Mão de Obra	R\$ mês ⁻¹	1.700,00
03	Mão de Obra ²	R\$ ha ⁻¹ mês ⁻¹	56,67
04	Sistema de Irrigação	R\$ ha ⁻¹	11,42
05	Amortização Ponderada ³	R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹	878,00
06	Lâmina Aplicada	mm dia ⁻¹	4,50
MEMÓRIA DE CÁLCULO			
07	Área	ha	1,00
08	Energia Elétrica	R\$ ha ⁻¹ mês ⁻¹	210,50
09	Meses de Irrigação	Mês	5,00
10	Lâmina Total Anual (150 Dias)	mm	675,00
CUSTOS OPERACIONAIS ANUAIS			
11	Energia Elétrica	R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹	1.052,00
12	Mão de Obra	R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹	283,35
CUSTO DO MILÍMETRO APLICADO			
13	Custo Operacional	R\$ mm ⁻¹	1,98
14	Custo Fixo do Milímetro Aplicado	R\$ mm ⁻¹	1,30
15	Custo Total do Milímetro Aplicado	R\$ mm ⁻¹	3,28

¹ Preço da tarifa rural convencional cobrada em dezembro de 2020 em Alagoas pela Equatorial, AL;

² Para a composição do preço da mão de obra por hectare, considerou-se que um rurícola assalariado é capaz de gerir uma área irrigada de 30 ha mensalmente;

³ Na amortização ponderada foi considerado o período de 20 anos para 70% dos equipamentos de irrigação, mais instalação elétrica e construção de uma pequena casa de bomba, sendo acrescentado 30% do valor para manutenção e 20% para mão de obra. Os outros 30% dos equipamentos de irrigação foram amortizados em 10 anos.

Fonte: Autor (2021).

Os preços mínimo, médio e máximo da tonelada de raízes de mandioca foram obtidos em função dos valores pagos a produtores no decorrer de 2020 (Tabela 2.4). Os preços foram obtidos através de levantamento junto a produtores e compradores da principal região produtora de Alagoas, que é composta pelos municípios de Arapiraca, Junqueiro, São Sebastião e Teotônio Vilela

Tabela 2.4. Preço mínimo, médio e máximo no decorrer da safra 2020, utilizado para calcular o preço médio da tonelada de raízes de mandioca em Alagoas.

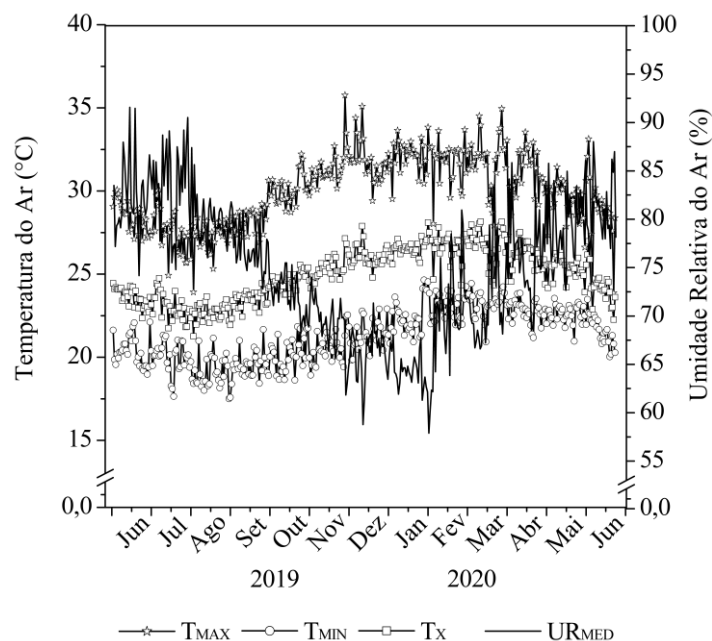
Preço Mínimo	Preço Médio	Preço Máximo
----- R\$ t ⁻¹ -----		
180,00	290,00	400,00

Fonte: Autor (2021).

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura máxima média (T_{MAX}) foi $30,1 (\pm 2,1) ^\circ\text{C}$, variando de $35,7^\circ\text{C}$ (24 de novembro de 2019) a $23,9^\circ\text{C}$ (15 de junho de 2020), durante o período experimental. A temperatura mínima média (T_{MIN}) foi $21,3 (\pm 1,6) ^\circ\text{C}$, variando de $17,5^\circ\text{C}$ (28 de agosto de 2019) a $23,6^\circ\text{C}$ (23 de janeiro de 2020) e a temperatura média (T_X) variou de $21,2^\circ\text{C}$ (01 de agosto de 2019) a $28,1^\circ\text{C}$ (06 de junho de 2020), com média geral de $25,1 (\pm 1,5) ^\circ\text{C}$. Alves (2002) afirma que temperaturas médias entre 25 e 29°C são ideais para o crescimento e desenvolvimento da mandioca. Então, com base nessa afirmação, a região de Rio Largo, AL, é apta para o cultivo da mandioca quanto a exigência térmica. A umidade relativa do ar média (UR_{MED}) variou de $57,8\%$ (26 de janeiro de 2020) a $90,5\%$ (27 de junho de 2019) e a média geral foi $74,2\%$ (Figura 2.1).

Figura 2.1. Temperaturas ($^\circ\text{C}$) mínima do ar (T_{MIN}), média (T_X) e máxima (T_{MAX}) diárias e umidade relativa (%) do ar média diária (UR_{MED}), na região de Rio Largo, AL, no período de junho de 2019 a junho de 2020.

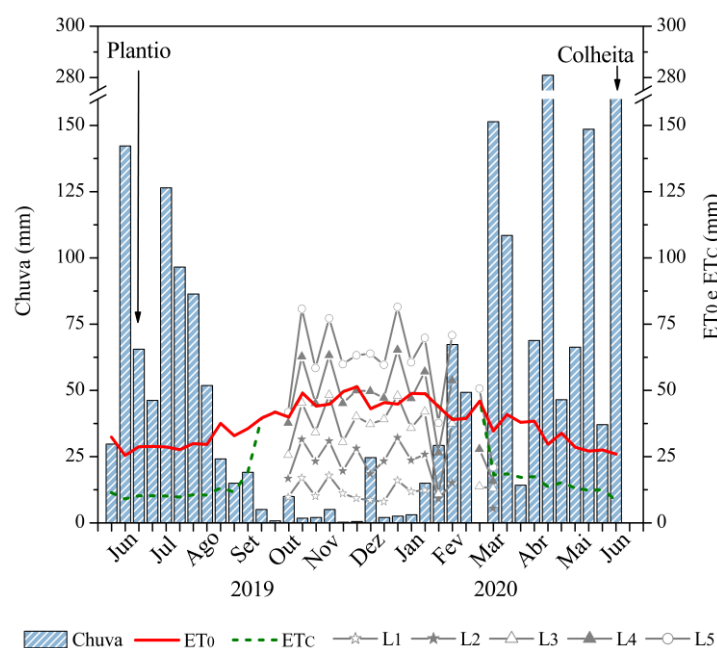


Fonte: Autor (2021).

A precipitação pluvial (chuva) acumulada durante o período experimental foi 1.847 mm. Abril foi o mês mais chuvoso (364 mm) e novembro o menos chuvoso ($7,4$ mm). Da chuva total, 1.744 mm ($94,4\%$) se concentrou em dois períodos: entre 27 de junho e 17 de setembro de 2019 e de 04 de fevereiro a 15 de junho de 2020. Enquanto de 18 de setembro 2019 a 03 de fevereiro de 2020, a chuva acumulada foi 103 mm ($5,6\%$), o que evidencia a necessidade de irrigação no período seco da região, que vai de setembro a março. Nas principais regiões

produtoras de mandioca no mundo, predominam acumulados de 800 mm anuais de chuva, sendo esse valor tido como satisfatório para uma boa produtividade de mandioca (ALVES, 2002). Dado o exposto, observa-se que a região de Rio Largo possui chuva anual suficiente para atender a demanda hídrica da cultura da mandioca, entretanto, devido a sazonalidade das chuvas, é necessária a adoção da irrigação em cultivos. A ET_0 acumulada durante o cultivo foi 1.454 mm, com média de $4,1 (\pm 1,1) \text{ mm.d}^{-1}$ e a evapotranspiração da cultura (ET_C) acumulada no período de cultivo foi 1.030 mm, com média diária de $3,0 (\pm 1,8) \text{ mm.d}^{-1}$. E, apenas durante a aplicação dos tratamentos (período de irrigação) a ET_C somou 462 mm (Figura 2.2).

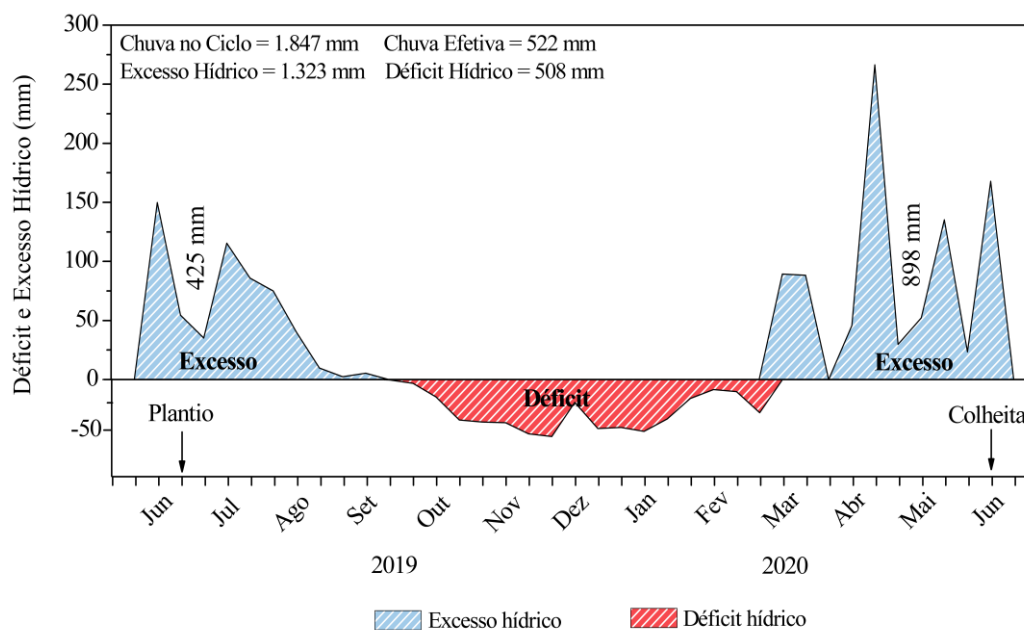
Figura 2.2. Precipitação pluvial (chuva), evapotranspiração de referência (ET_0) e da cultura (ET_C) e níveis de irrigação (L) descendais, na região de Rio Largo, AL, no período de junho de 2019 a junho de 2020.



Fonte: Autor (2021).

Do total de 1.847 mm que choveu, 1.323 mm foi perdido como excesso hídrico (escoamento superficial ou percolação no solo). Destacando-se como precipitação pluvial (chuva) efetiva, apenas 522 mm e essa é a quantidade de água que ficou disponível para as plantas. Nessa perspectiva, houve um déficit hídrico de 508 mm porque a ET_C Total foi 1.030 mm. Essa deficiência hídrica se concentrou entre o último decêndio de setembro de 2019 e primeiro de fevereiro de 2020, atingindo principalmente o cultivo nas áreas de sequeiro (Figura 2.3). Pelo exposto, ratifica-se que a evapotranspiração real (ET_r) da mandioca acumulada durante o ciclo, sem irrigação (L_0), foi 522 mm, correspondente à chuva efetiva.

Figura 2.3. Balanço hídrico decendial da cultura da mandioca sem irrigação (L_0), com ênfase para o excesso e déficit hídrico na região de Rio Largo, AL, no período de junho de 2019 a junho de 2020.



Fonte: Autor (2021).

Na Tabela 2.5 são observadas as lâminas totais aplicadas (irrigação total), que variaram de 134 a 906 mm, entre L_1 (40% da ET_C) e L_5 (200% da ET_C), a precipitação pluvial efetiva (chuva efetiva), somatório da precipitação pluvial efetiva mais irrigação (lâmina total), déficit e excesso hídrico (mm) provenientes dos balanços hídricos da cultura sob os níveis de irrigação.

Tabela 2.5. Precipitação pluvial total (P_{TOTAL}) e efetiva (chuva efetiva), lâminas de irrigação brutas totais aplicadas (irrigação total), precipitação pluvial efetiva mais irrigação (lâmina total), déficit e excesso hídrico durante o ciclo de cultivo da mandioca, em Rio Largo, AL, no período de junho de 2019 a junho de 2020.

Tratamentos	Chuva Efetiva	Irrigação Total	Lâmina Total	Déficit	Excesso
----- mm -----					
Sequeiro	522	0	522	508,0	1.323
L_1	522	134	656	372,0	1.323
L_2	510	307	817	211,0	1.335
L_3	456	507	963	65,0	1.389
L_4	317	701	1.018	5,0	1.528
L_5	117	906	1.023	5,0	1.728
$P_{TOTAL} = 1.847$	-	-	-	-	-

Fonte: Autor (2021).

Os níveis de irrigação provocaram diferença significativa, a 5% de probabilidade, para as variáveis: comprimento de raízes comerciais, produtividades de raízes comerciais e biomassa

total, produtividades de matéria seca de raízes e matéria seca total e índice de área foliar. O índice de colheita foi significativo a 1% de probabilidade (Tabela 2.6). As demais variáveis (altura de plantas, número de folhas, comprimento e diâmetro de raiz e caule, número de raízes comerciais, produtividade úmida e seca de caule e folha) não foram significativas.

Tabela 2.6. Análise de variância das variáveis de crescimento e de produção da mandioca sob níveis de irrigação na região de Rio Largo, AL, cultivada no período de junho de 2019 a junho de 2020.

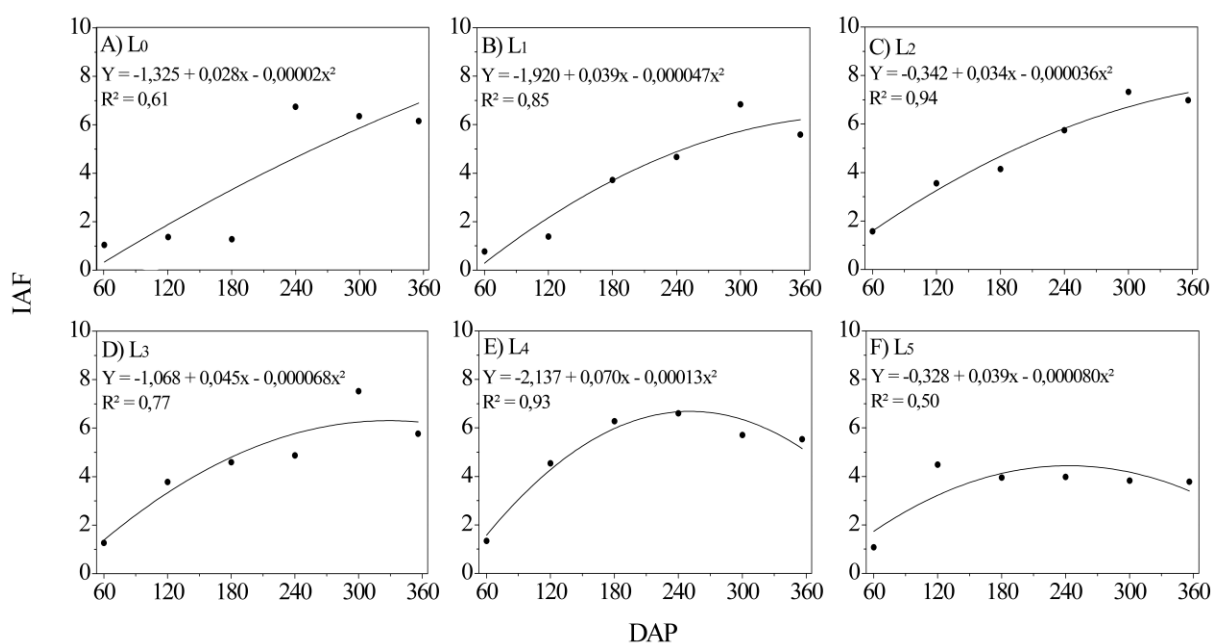
Causa de Variação	G.L.	Quadrados Médios				
		AP	NF	CC	DC	NRC
Lâminas	5	0,012 ^{ns}	1105,10 ^{ns}	0,035 ^{ns}	8,675 ^{ns}	2,800 ^{ns}
Bloco	3	0,080 ^{ns}	560,611 ^{ns}	0,126 ^{ns}	2,125 ^{ns}	2,500 ^{ns}
Linear	1	0,000 ^{ns}	1945,157 ^{ns}	0,085 ^{ns}	27,032 ^{ns}	2,057 ^{ns}
Quadrática	1	0,030 ^{ns}	570,964 ^{ns}	0,035 ^{ns}	0,107 ^{ns}	4,526 ^{ns}
Resíduo	15	0,037	2101,411	0,036	16,519	3,133
C.V. (%)		6,80	35,88	7,85	14,85	24,42
		DR	CR	BT	PF	PC
Lâminas	5	60,941 ^{ns}	251,775*	3674,575*	7,075 ^{ns}	94,287 ^{ns}
Bloco	3	173,608 ^{ns}	91,597 ^{ns}	350,899 ^{ns}	9,888 ^{ns}	16,403 ^{ns}
Linear	1	217,889 ^{ns}	274,032 ^{ns}	10245,917**	8,617 ^{ns}	412,93 ^{ns}
Quadrática	1	34,074 ^{ns}	810,694*	7682,608*	24,166 ^{ns}	19,599 ^{ns}
Resíduo	15	57,113	77,197	1218,286	11,726	75,103
C.V. (%)		13,27	22,75	27,37	24,43	22,90
		PR	PMST	PMSF	PMSC	PMSR
Lâminas	5	2481,877*	852,045*	1,752 ^{ns}	39,537 ^{ns}	498,212*
Bloco	3	439,664 ^{ns}	44,800 ^{ns}	2,112 ^{ns}	10,842 ^{ns}	66,381 ^{ns}
Linear	1	6078,690**	2281,030*	0,299 ^{ns}	157,395 ^{ns}	1201,387**
Quadrática	1	6132,062**	1898,528*	5,20 ^{ns}	32,097 ^{ns}	1269,229**
Resíduo	15	693,529	283,533	1,998	16,259	168,931
C.V. (%)		34,80	32,40	30,80	28,14	39,97
		IC	IAF			
Lâminas	5	0,026**	2,923*			
Bloco	3	0,006 ^{ns}	0,909 ^{ns}			
Linear	1	0,050**	0,964 ^{ns}			
Quadrática	1	0,073**	9,052**			
Resíduo	15	0,003	0,702			
C.V. (%)		9,60	15,94			

** - Significativo a 1%; * - Significativo a 5%; ^{ns} - Não significativo pelo teste F (p<0,05); altura de plantas (AP); número de folhas (NF); comprimento do caule (CC); diâmetro do caule (DC); número de raízes (NRC); diâmetro de raízes (DR); comprimento de raízes comerciais (CR); produtividade de biomassa total (BT); produtividade de folhas (PF); produtividade de caule (PC); produtividade de raízes comerciais (PR); produtividade de matéria seca total (PMST); produtividade de matéria seca das folhas (PMSF); produtividade de matéria seca do caule (PMSC); produtividade de matéria seca das raízes (PMSR); índice de colheita (IC) e índice de área foliar (IAF).

Fonte: Autor (2021).

O maior valor de IAF máximo estimado, dentre os níveis de irrigação, foi 7,6, observado no nível de irrigação L₂ (80% da ET_C) e lâmina total (chuva efetiva mais irrigação) de 817 mm. No nível de irrigação L₅ (200% da ET_C), equivalente a maior lâmina total (1.023 mm), foi identificado o menor IAF máximo estimado, que foi 4,4 (Figura 2.4). Quanto ao tratamento sequeiro (L₀), ocorreu um déficit hídrico de 508 mm durante o ciclo da cultura, entre o terceiro decêndio de setembro de 2019 e o primeiro de fevereiro de 2020, que cessou o crescimento foliar da mandioca e ocasionou queda de folhas. A retomada do crescimento foliar, ocorreu apenas no segundo decêndio de fevereiro de 2020, com o reinício das chuvas, quando choveu 67 mm. Nesse cenário o IAF máximo estimado da mandioca em sequeiro (L₀) foi de 8,4, aos 700 DAP (Figura 2.4A). Esse período é relativamente longo para a mandioca atingir o máximo acúmulo de massa foliar, o que indica que a cultura sob sequeiro, possivelmente, não concluiu seu ciclo fenológico no período de 1 ano (tempo que durou da pesquisa), alocando menor quantidade de fotoassimilados em seu sistema radicular e produzindo raízes menores durante o período estudado. Alves (2002) afirma que há uma correlação positiva entre o IAF e a produtividade de raízes, pelo fato da massa foliar da planta ser responsável pela produção de fotoassimilados que são acumulados no sistema radicular. De maneira geral, foi observado, nessa pesquisa, que o IAF da mandioca é reduzido por estresse hídrico tanto por falta de água em áreas de sequeiro (L₀), como por excesso em áreas super irrigadas (L₅).

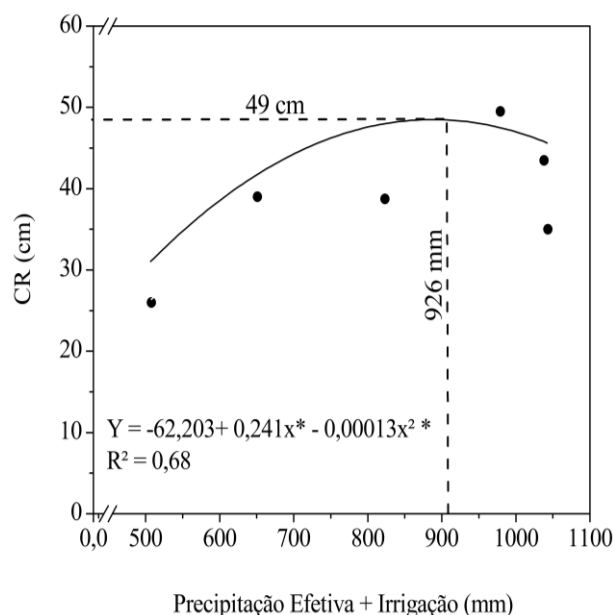
Figura 2.4. Índice de área foliar (IAF) da mandioca sob os níveis de irrigação, L₀ (A), L₁ (B), L₂ (C), L₃ (D), L₄ (E), L₅ (F), na região de Rio Largo, AL, cultivada no período de junho de 2019 a junho de 2020.



Fonte: Autor (2021).

O comprimento máximo de raízes foi de 49 cm, observado nas áreas irrigadas com a lâmina total estimada de 926 mm. O menor CR estimado foi constatado sob L₀ (28 cm), redução de 43% em relação ao CR máximo obtido. Quando o solo foi saturado com a L₅ (200% da ET_C), equivalente a lâmina total de 1.023 mm no ciclo da mandioca, o excesso de água reduziu o CR estimado para 48 cm, o que indica queda no CR com aplicação de lâminas totais superiores a 926 mm (Figura 2.5). Alves (2002) afirma que o comprimento de raízes comerciais de mandioca variam de 15 a 100 cm, o que corrobora com os resultados obtidos nessa pesquisa. Os resultados também indicam que a mandioca sob déficit e excesso hídrico, sofre redução no comprimento radicular. Os menores valores de IAF obtidos sob L₀ (sequeiro) e L₅ (200% da ET_C), podem ter favorecido o menor CR sob esses tratamentos, já que a relação fonte-dreno da planta foi comprometida.

Figura 2.5. Comprimento de raízes (CR) da mandioca sob os níveis de irrigação, na região de Rio Largo, AL, cultivada no período de junho de 2019 a junho de 2020.



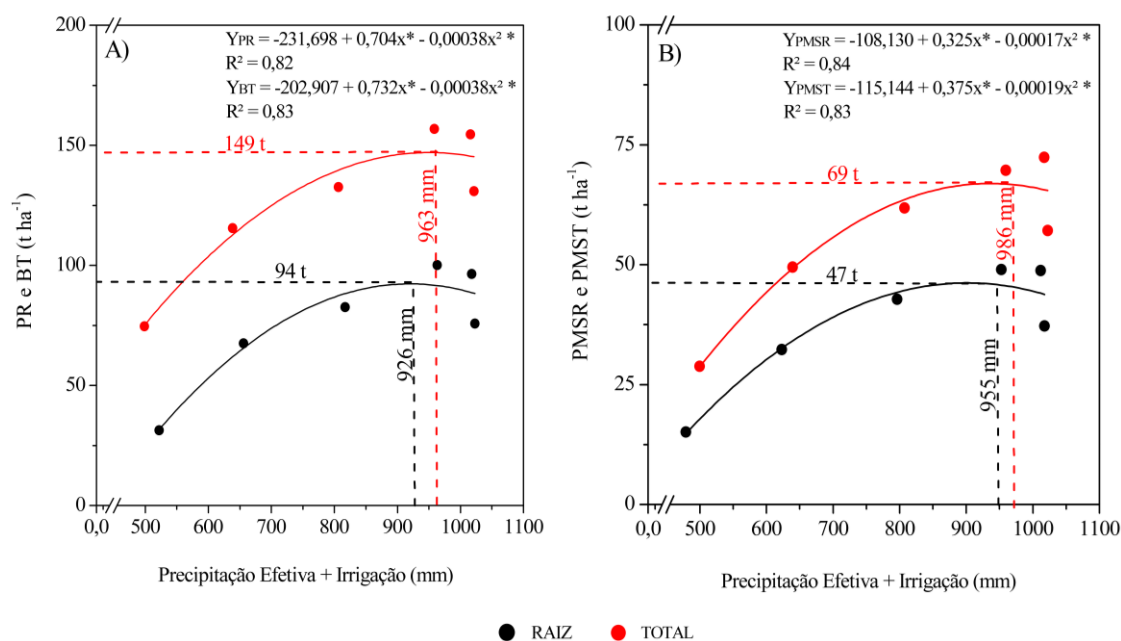
*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Fonte: Autor (2021).

A produtividade física máxima de raízes comerciais (PR) e biomassa total (BT) foram, respectivamente, 94 e 149 t ha⁻¹, obtidas nas parcelas irrigadas com as lâminas totais estimadas de 926 e 963 mm, incremento de 194 e 99%, respectivamente, em relação as menores PR (32 t ha⁻¹) e BT (75 t ha⁻¹) estimadas em áreas de sequeiro. A lâmina de máxima PR e a lâmina que proporciona a máxima BT ficaram próximas à lâmina bruta total aplicada nas áreas sob L₃ (120% da ET_C), que foi 963 mm, o que indica que esse nível de irrigação (L₃) dentre os estudados é o que proporciona maior produtividade da cultura. Quando o solo foi saturado com

200% da ET_C (L_5), a PR e BT estimadas foram de 91 e 148 t ha^{-1} , redução de 3 e 1% em relação aos valores máximos obtidos, isso indica uma tendência de queda na produtividade com aplicação de lâminas totais superiores a 926 e 963 mm (Figura 2.6A) provocada pelo estresse hídrico causado pelo excesso de água no solo. Danquah et al. (2016) em estudo com e sem irrigação na mandioca, obtiveram incremento de 63% na produtividade de raízes sob irrigação em comparação com o cultivo de sequeiro. Morais et al. (2017) avaliaram genótipos de mandioca em Alagoas sob condições de sequeiro e obtiveram produtividade de raízes de 27,50 t ha^{-1} , 16 meses após o plantio, com a variedade Caravela. Ande et al. (2008) relataram que a mandioca sob condições ideais de manejo, atinge produtividade de raízes de 80,0 t ha^{-1} . Esses resultados corroboram com os dados dessa pesquisa e confirmam que a produtividade de raízes e biomassa total da mandioca é maior quando irrigada. E, sob estresse hídrico, seja por falta ou excesso de água, ocorre redução de crescimento e rendimento agrícola. De acordo com Coelho Filho (2020), o excesso de água no solo reduz o oxigênio disponível, estressa a planta e, conseqüentemente, reduz a produtividade, como visto nessa pesquisa.

Figura 2.6. Produtividade de raízes comerciais – PR e total – BT (A), matéria seca de raízes – PMSR e total – PMST (B) da mandioca sob níveis de irrigação, na região de Rio Largo, AL, cultivada no período de junho de 2019 a junho de 2020.



*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

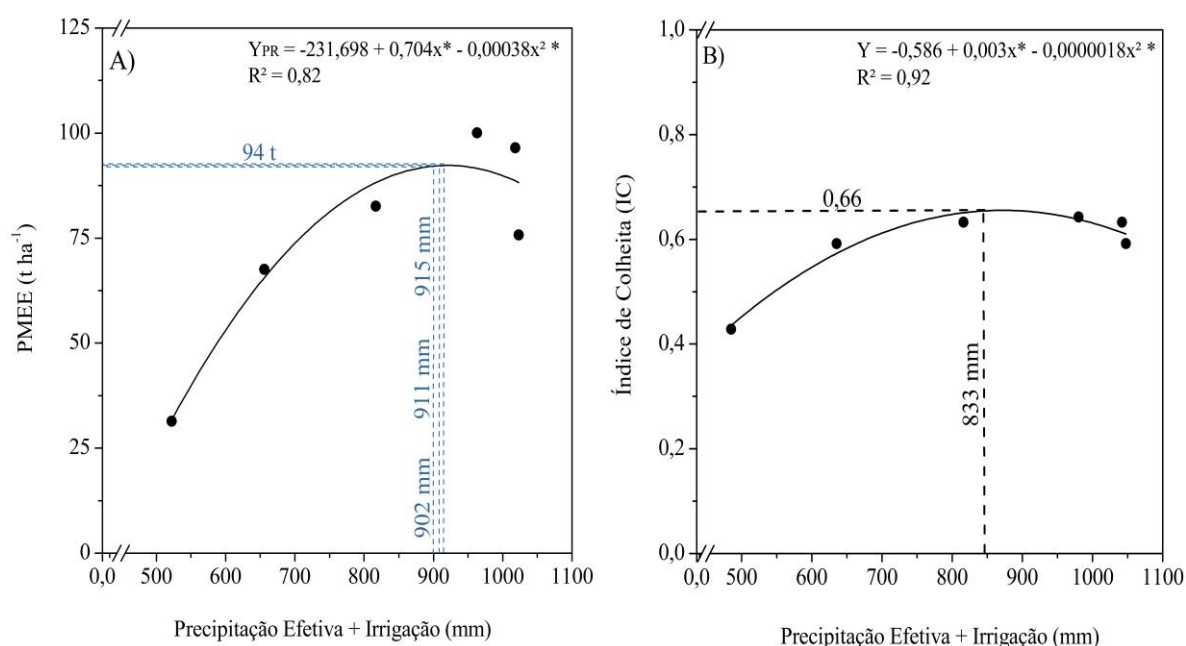
Fonte: Autor (2021).

A produtividade máxima de matéria seca de raízes (PMSR) foi 47 t ha^{-1} , obtida em áreas irrigadas com a lâmina total estimada de 955 mm no ciclo da mandioca. A menor PMSR estimada (15 t ha^{-1}) foi produzida em áreas não irrigadas, sendo 68% menor em relação a PMSR

máxima. Quanto a produtividade de matéria seca total (PMST), a PMST máxima (69 t ha⁻¹) foi obtida com a lâmina total estimada de 986 mm. Sob condições de sequeiro, verificou-se a menor PMST estimada (29 t ha⁻¹), redução de 58% no acúmulo de matéria seca total na planta em relação ao valor máximo obtido (Figura 2.6B). Odubanjo et al. (2011) estudaram diferentes regimes hídricos em função da disponibilidade de água do solo, e obtiveram produtividade média de matéria seca total de 43,37 t ha⁻¹ recebendo 100% da AFD, enquanto, plantas sem irrigação produziram 6,52 t ha⁻¹, corroborando os valores obtidos nessa pesquisa, o que indica que diferentes níveis de irrigação, de maneira geral, interferem na produtividade da mandioca.

A produtividade de raízes de máxima eficiência econômica (PMEE), com o preço médio da tonelada de raiz de R\$ 290,00 e do milímetro aplicado R\$ 3,28, é 94,27 t ha⁻¹, obtida com 911 mm de lâmina total (chuva efetiva mais irrigação) no ciclo 12 meses da mandioca. Para os valores de R\$ 180,00 e 400,00, os preços mínimo e máximo da tonelada de raiz, as PMEE foram 94,14 e 94,31, respectivamente, obtidos com lâminas totais de 902 e 915 mm (Figura 2.7A). Observa-se que as lâminas totais de máxima eficiência econômica apresentaram valores próximos a lâmina total de máxima produtividade física (926 mm). Portanto, se a irrigação que proporcionou produtividades máximas física e econômica foram próximas é um indicativo de que a irrigação em mandioca tem bom retorno financeiro.

Figura 2.7. Produtividade de máxima eficiência econômica – PMEE (A) e índice de colheita – IC (B) da mandioca sob níveis de irrigação, na região de Rio Largo, AL, cultivada no período de junho de 2019 a junho de 2020.



*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Fonte: Autor (2021).

Quanto ao índice de colheita (IC), o IC máximo foi 0,66, com lâmina total estimada de 833 mm, incremento de 37% em comparação ao menor valor, 0,48, obtido nas áreas de sequeiro. Sob a L_5 (200% da ET_C), o IC foi de 0,59, redução de 11% em relação ao IC máximo (Figura 2.7B). Souza et al. (2010) em estudo de combinações entre manejos de irrigação e épocas de colheita na mandioca, verificaram IC de 0,37 a 0,43 para plantas em regime de sequeiro e irrigação plena, respectivamente. Enquanto, Alves (2002) afirma que, de maneira geral, o IC da mandioca sob condições normais de cultivo varia de 0,49 a 0,77, após 12 meses de plantio. O autor ainda afirma que déficits hídricos prolongados, condições edáficas e cultivar empregada, podem afetar a relação fonte-dreno da planta, o que afeta o IC. Assim, fica nítido que diversos fatores podem afetar o IC da mandioca, porém, sob as condições de Rio Largo, AL, a lâmina total de 833 mm na mandioca Caravela, é significativamente capaz de aumentar o IC. Além disso, o estresse hídrico em áreas de sequeiro e com excesso de irrigação, reduz o IC da mandioca devido ao estresse provocado por falta e excesso de água.

De maneira geral, foi observado aumento produtivo da mandioca sob condições irrigadas, o que resultou em maior produtividade de raízes e biomassa total. Quanto ao crescimento, a irrigação adequada é capaz de gerar um maior índice de área foliar e comprimento radicular da mandioca. Dado o exposto, fica nítido que entender o crescimento e produtividade da mandioca irrigada, torna-se importante no manejo da cultura, principalmente, em regiões com irregularidade de chuvas como o Nordeste brasileiro.

2.4. CONCLUSÕES

A evapotranspiração anual da cultura da mandioca, em Rio Largo, AL, é 1.030 mm e o déficit hídrico médio, nas áreas de sequeiro, é 508 mm. O índice de área foliar máximo (7,6) é observado em áreas irrigadas com 80% da ET_c , equivalente a lâmina total (chuva efetiva mais irrigação) de 817 mm e o comprimento máximo de raízes comerciais (49 cm) é obtido com a lâmina total estimada de 926 mm.

As produtividades máximas de raízes (94 t ha^{-1}) e biomassa total (149 t ha^{-1}) são conseguidas com as lâminas totais (chuva efetiva mais irrigação) de 926 e 963 mm, respectivamente. A produtividade de raízes de máxima eficiência econômica, com os preços da tonelada de R\$ 180,00 a 400,00, é 94 t ha^{-1} , sendo obtida com as lâminas totais de 902 a 915 mm para cada preço, respectivamente. Enquanto, as máximas produtividades de matéria seca de raízes (47 t ha^{-1}) e total (69 t ha^{-1}) são produzidas com as lâminas totais de 955 e 986 mm. O maior índice de colheita (0,66) é verificado em áreas irrigadas com lâmina total de 833 mm no ciclo de cultivo de 12 meses.

2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDE, O. T.; ADEDIRAN, J. A.; AYOOLA, O. T.; AKINLOSOTU, T. A. Effects of land quality, management and cropping systems on cassava production in southern western Nigeria. **African Journal of Biotechnology**, v.7, p.2368-2374, 2008.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: **Food Agriculture Organization of the United Nations**, 1998. 301p.

ALVES, A. A. C. Cassava botany and physiology. In: Hillocks, R.J., Thresh, J.M., Bellotti, A.C. (Eds.), **Cassava: Biology, Production and Utilization**. p. 67–89, 2002.

CARVALHO, O. M. **Classificação e caracterização físico-hídrica de solos de Rio Largo cultivados com cana-de-açúcar**. 2003. 74 f. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Alagoas.

COELHO FILHO, M. A. **Irrigação da cultura da mandioca**. EMBRAPA, Cruz das Almas, 2020. 12 p. (Comunicado Técnico 172).

DARYANTO, S. WANG, L. JACINTHE, P. A. Drought effects on root and tuber production: A meta-analysis. **Agricultural Water Management**, v. 176, p. 122-131, 2016.

DANQUAH, A. J.; GRANCE, V. E.; OFFEI, S. K.; ASANTE, I.K. ADUENING, J. M. Genetic variability in storage root bulking of cassava genotypes under irrigation and no irrigation. **Agriculture & Food Security**, v.5, p. 2-12, 2016.

EZUI, K. S.; LEFFELAARB, P. A.; FRANKEC, A. C.; MANDOA, A.; GILLE, K. E. Simulating drought impact and mitigation in cassava using the LINTUL model. **Field Crops Research**, v. 219 p. 256–272, 2018.

FERNANDES, M. F.; PROCÓPIO, S. O; BASTOS, D. F.; MACHADO, T. N. **Alterações na fertilidade química dos solos em áreas de produção familiar de mandioca no território do alto sertão de alagoas**. In: XII Congresso Brasileiro de Mandioca, 2007, Paranaíba. Anais... Paranaíba, 2007.

FRIZONEE, J. A. **Análise de decisão econômica em irrigação**. Piracicaba: ESALQ, 2005.

HARRISON, E. Engineering change? The idea of 'the scheme' in African irrigation. **World Development**, v. 111, p. 246-255, 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geográfico e Estatística. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/188#resultado>. Acesso em: 06 nov. 2018.

MANICKASUNDARAM, P.; SELVARAJ. P. K.; KRISHNAMOORTHY, V. V.; GNANAMURTHY, P. Drip irrigation and fertigation studies in tapioca. **Madras Agric. J.**, v. 89, p. 466-468, 2002.

MORAIS, L.; SANTIAGO, A. D.; Z. CAVALCANTE, M. Q. B. Phenotypic stability in cassava estimated by the AMMI analysis with supplementary genotypes. **Crop Breed. Appl. Biotechnol.** v.17, p. 366-372, 2017.

ODUBANJO, O. O.; OLUFAYO, A. A.; OGUNTUNDE, P. G. Water use, growth, and yield of drip irrigated cassava in a humid tropical environment. **Soil Water Res.**, v.6 p.10-20, 2011

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia (Fundamentos e aplicações práticas)**. Livraria e Editora Agropecuária. Guaíba – RS. 2002. 478p.

SAGRILO, E.; VIDIGAL FILHO, P. S.; PEQUENO, M. G.; GONÇALVES-VIDIGAL, M. C.; KVITSCHAL, M. V. Dry matter production and distribution in three cassava (*Manihot esculenta* Crantz) cultivars during the second vegetative plant cycle. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, p. 1079-1087, 2008.

SILVA, J. **Relato de elaboração do sistema de produção de mandioca para o extremo Sul da Bahia**. In: XIII Congresso Brasileiro de Mandioca, 2009, Botucatu. Anais... Botucatu, 2009.

SOUZA, J. L.; NICÁCIO, R. M.; MOURA, M. A. L. Global solar radiation measurements in Maceió, Brasil. **Renewable Energy**, v.30, p.1203-1220, 2005.

SOUZA, L. S.; SILVA, J.; SOUZA, L. D. **Recomendação de calagem e adubação para o cultivo da mandioca**. EMBRAPA, Cruz das Almas, 2009. 6 p. (Comunicado Técnico, 133).

SOUZA, M. J. L.; VIANA, A. E. S.; MATSUMOTO, S. N.; VASCONCELOS, R. C.; SEDIYAMA, T.; MORAIS, O. M. Características agronômicas da mandioca relacionadas à interação entre irrigação, épocas de colheita e cloreto de mepiquat. **Acta Science**, v. 32, p. 45-53, 2010.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955.

TIRONI, L. F., UHLMANN, L. O., STRECK, N. A., SAMBORANHA, K. F., FREITAS, C. P. O., SILVA, M. R. Desempenho de cultivares de mandioca em ambiente subtropical. **Bragantia**, v.74, p.58-66, 2015.

XIE, H.; YOU, L.; TAKESHIMA, H. Invest in small-scale irrigated agriculture: A national assessment on potential to expand small-scale irrigation in Nigeria. **Agricultural Water Management**, v. 193. p. 251-264, 2017.

CAPÍTULO III

ASPECTOS FISIOLÓGICOS E PRODUTIVOS DA MANDIOCA SOB DIFERENTES NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO

Resumo: Esta pesquisa teve como objetivo avaliar os aspectos fisiológicos e produtivos da mandioca irrigada nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. O experimento foi realizado no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). O delineamento estatístico utilizado foi blocos casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram níveis de irrigação com base na evapotranspiração da cultura – ET_C ($L_0 = 0\%$ (sequeiro), $L_1 = 40\%$, $L_2 = 80\%$, $L_3 = 120\%$, $L_4 = 160\%$ e $L_5 = 200\%$ da ET_C) e as variáveis analisadas foram: concentração interna de CO_2 , transpiração, condutância estomática, taxa fotossintética e eficiência instantânea de uso da água. Também foram analisados o rendimento quântico potencial e eficiência quântica efetiva do fotossistema II e teor de clorofila foliar através do índice SPAD. O crescimento e a produtividade da cultura foram avaliados pelo índice de área foliar (IAF) e número e produtividade de raízes comerciais, caule, folhas e biomassa total. Nessa pesquisa, a lâmina total foi definida como a irrigação total mais a chuva efetiva. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância ($p < 0,05$) e os resultados de IAF, produtividade de raízes e biomassa total, concentração interna de CO_2 , transpiração, condutância estomática, taxa fotossintética, eficiência quântica efetiva do fotossistema II e índice SPAD foram significativos. A evapotranspiração anual da cultura da mandioca, na região de Rio Largo, AL, é 1.030 mm e isso provoca um déficit hídrico, nas áreas de sequeiro de 508 mm, porque a chuva efetiva total é apenas 522 mm. O índice de área foliar máximo foi 7,6. As produtividades máximas de raízes e biomassa total foram de 94 e 149 t ha⁻¹, respectivamente. A taxa fotossintética máxima foi 22,5 $\mu\text{mol de } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Enquanto o valor máximo da taxa transpiratória e condutância estomática foram 4,0 e 0,35 $\mu\text{mol de } H_2O \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente. A concentração interna de CO_2 máxima foi 245 $\mu\text{mol de } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e a eficiência quântica efetiva máxima foi de 0,68. O índice SPAD máximo foi 57. De maneira geral, a irrigação adequada gera ganhos quanto a aspectos fisiológicos e aumenta a produtividade da cultura da mandioca, na região de Rio Largo, AL, em 194%.

Palavras-chave: Índice de área foliar, fotossíntese líquida; concentração de CO_2 ; condutância estomática; índice SPAD; rendimento quântico.

PHYSIOLOGICAL AND PRODUCTIVE ASPECTS OF CASSAVA UNDER DIFFERENT IRRIGATION LEVELS

Abstract: This research aimed to evaluate the growth and productivity of irrigated cassava in the Coastal Plateaus of Alagoas. The experiment was carried out at the Campus of Engineering and Agricultural Sciences (CEAS) of the Federal University of Alagoas (FUAL). The statistical design adopted was randomized blocks, with six treatments and four replications. The treatments were irrigation levels as a function of crop evapotranspiration – ET_C ($L_0 = 0\%$ (rainfed), $L_1 = 40\%$, $L_2 = 80\%$, $L_3 = 120\%$, $L_4 = 160\%$ and $L_5 = 200\%$ of ET_C). The variables analyzed were: internal CO_2 concentration, transpiration, stomatal conductance, photosynthetic rate and instant water use efficiency. The potential quantum yield and effective quantum efficiency of photosystem II and leaf chlorophyll content were also analyzed using the SPAD index. The growth and productivity of the crop were evaluated by the leaf area index (LAI) and number and productivity of commercial roots, stem, leaves and total biomass. In this research, the total depth was defined as total irrigation plus the effective rain. The data obtained were submitted to analysis of variance ($p < 0.05$) and the results of LAI, total root and biomass yield, internal of CO_2 concentration, transpiration, stomatal conductance, photosynthetic rate, effective quantum efficiency of photosystem II and index SPAD were significant. The annual evapotranspiration of the cassava crop, in the region of Rio Largo, AL, is 1,030 mm and this causes a water deficit, in the 508 mm rainfed areas, because the total effective rain is only 522 mm. The maximum LAI was 7.6. The maximum photosynthetic rate was $22.5 \mu\text{mol of } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. The maximum value of the transpiratory rate and stomatal conductance were 4.0 and $0.35 \mu\text{mol of } H_2O \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectively. The maximum internal CO_2 concentration was $245 \mu\text{mol of } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Meanwhile, the maximum effective quantum efficiency was 0.68. The maximum SPAD index was 57. In general, adequate irrigation can made gains in terms of physiological aspects and yield of cassava crop, in the Rio Largo, AL region, in 194%.

Keywords: Leaf area index; net photosynthesis; CO_2 of concentration; stomatal conductance; SPAD index; quantum yield.

3.1. INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma das principais culturas alimentares de países tropicais, sendo considerada importante fonte de energia para humanos e animais (PIPATSITEE et al., 2018). Devido seu baixo custo de produção, tornou-se uma cultura bastante utilizada por médios e pequenos agricultores, destacando-se como uma planta de grande importância socioeconômica. No Brasil seu cultivo destina-se, principalmente, a indústria de produção de fécula e farinha, além da alimentação animal (ALVES, 2002; MATTOS et al., 2006; SILVA & MURRIETA, 2014).

O Brasil produziu 17,6 milhões de toneladas de raízes de mandioca na safra 2018, com produtividade média de 14,64 t ha⁻¹. O Nordeste brasileiro é a segunda região que mais produz raízes de mandioca no país (20% da produção nacional), perdendo apenas para a região Norte (36% da produção nacional). Na safra de 2018, o estado de Alagoas foi o 13º maior produtor, dentre os estados brasileiros, com uma produção de 394 mil toneladas, e rendimento de 11,62 t ha⁻¹ (IBGE, 2018). Em Alagoas, a mandioca é cultivada tradicionalmente por pequenos produtores, sob baixo nível tecnológico. Consequentemente, os cultivos alagoanos, há várias décadas são feitos nas mesmas áreas, predominantemente sem mecanização, adubação e irrigação apropriadas (FERNANDES et al., 2007). Porém, salienta-se que nos últimos anos (2015 – 2020) observou-se aumento nos investimentos tecnológicos empregado em cultivos nos principais municípios produtores de Alagoas (Arapiraca, Junqueiro, São Sebastião e Teotônio Vilela), sendo realizado plantios semi mecanizados, controle químico de plantas invasoras e adubação.

A ausência de irrigação aliada à sazonalidade das chuvas é o principal fator limitante para a produtividade da mandioca na região Nordeste. A redução no rendimento de raízes da cultura depende, principalmente, da duração das condições de déficit hídrico no solo. O período crítico de cultivo, em que a mandioca pode ser mais afetada por déficit hídrico, ocorre entre o primeiro e quinto mês após o plantio. Nesse período ocorre o estabelecimento do sistema radicular e da parte aérea da cultura (CONCEIÇÃO, 1979; EL-SHARKAWY, 2007). Longos períodos de déficit hídrico podem ocasionar perdas de até 59% na produção final de raízes, o que denota a importância da irrigação nos cultivos de mandioca (EZUI et al., 2018).

Como em outras culturas agrícolas, a redução da disponibilidade de água no solo gera uma resposta imediata dessa Euphorbiaceae, com fechamento estomático, e consequente redução da taxa fotossintética e transpiração foliar (EL-SHARKAWY, 2007; PIPATSITEE et al., 2018). Do contrário, sob condições ideais de umidade do solo, a mandioca mantém alta condutância estomática e concentração interna de CO₂, assegurando maiores taxas

fotossintéticas e produção de biomassa. Isso ressalta a importância da irrigação adequada na mandiocultura (ALVES et al., 2000). Dado o exposto, conhecer as características fisiológicas da mandioca sob condições de déficit e excesso hídrico, são essenciais para o manejo eficiente da cultura.

Apesar de existirem estudos sobre o cultivo da mandioca em resposta a níveis de irrigação (ODUBANJO et al., 2011; MÉLO NETO et al., 2018), há pouca informação sobre a resposta fisiológica da cultura irrigada nos tabuleiros costeiros do Nordeste brasileiro. Por isso, o objetivo, nesse estudo, foi avaliar as trocas gasosas, eficiência fotoquímica, e produtividade de biomassa da mandioca cultivada sob níveis de irrigação na região nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Campus de Engenharia e Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), no município de Rio Largo, Alagoas (9°27'58.7" S, 35°49'47.2" W, 127 m), local que, de acordo com a classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955), tem clima úmido e megatérmico, com déficit de água moderado no verão e excesso no inverno. A precipitação pluvial e temperatura média anual é 1.800 mm e 25,4 °C, respectivamente (SOUZA et al., 2005). O período experimental foi de 27 de junho de 2019 a 18 de junho de 2020. Os dados meteorológicos foram disponibilizados pelo Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia (LIA) do CECA/UFAL.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo amarelo coeso argisólico de textura médio-argilosa (CARVALHO, 2003). A adubação de fundação e cobertura foram realizadas em função da estimativa de extração de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) pela cultura, conforme Souza et al. (2009). Foram aplicados 123 kg ha⁻¹ de N, 27 kg ha⁻¹ de P e 146 kg ha⁻¹ de K, com as fontes ureia (45% de N), superfosfato simples (19% de P₂O₅) e cloreto de potássio (57,8% K₂O), respectivamente. Essas informações da composição dos adubos foram observadas nos rótulos dos produtos comerciais. A adubação de cobertura foi parcelada em duas aplicações, aos 45 e 90 DAP.

O plantio foi realizado no espaçamento de 1,0 x 0,5 metros para formar uma população de 20 mil plantas por hectare. A variedade utilizada no experimento foi a Caravela, de ciclo precoce a intermediário (12 a 18 meses), alta produtividade e tolerância média a pragas e doenças (SILVA et al., 2009). Foram utilizadas manivas semente de 20 cm de comprimento, com 5 gemas. Para o controle de plantas invasoras foi aplicado herbicida pré-emergente a base de Flumioxazina (200 g p.c./ha, 400 L de calda/ha) após o plantio.

O delineamento adotado foi blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram seis níveis de irrigação (L₀ = 0% (sequeiro), L₁ = 40%, L₂ = 80%, L₃ = 120%, L₄ = 160% e L₅ = 200% da evapotranspiração da cultura – ET_C, estimada no período em que a cultura foi irrigada). As parcelas experimentais foram de 6,0 x 8,0 metros, totalizando 48 m². A área total do experimento foi 1.740 m².

A irrigação foi feita apenas no período de outubro de 2019 a março de 2020, que é o período seco da região e, nesse período, as plantas estavam na fase intermediária de crescimento e desenvolvimento da cultura. No período de irrigação o K_C da cultura da mandioca foi 1,0. O K_C adotado foi 0,35 e 0,45 para as fases inicial e final do ciclo, respectivamente, conforme o Royal Irrigation Department – RID (2010). A ET_C (mm d⁻¹) foi obtida através da Equação 3.1:

$$ET_c = ET_0 * K_c \quad (3.1)$$

em que, ET_0 é a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith - FAO (ALLEN et al., 1998) e K_c é o coeficiente da cultura.

A irrigação foi realizada por microaspersão, com os microaspesores espaçados em 2,0 x 3,0 metros. A vazão média dos emissores foi 50 L h⁻¹ e a intensidade de aplicação de 8,33 mm h⁻¹. A umidade volumétrica do solo da área experimental na capacidade de campo é de 0,2445 m³ m⁻³ e no ponto de murcha permanente é 0,1475 m³ m⁻³, determinados em laboratório, pela curva de retenção de água no solo (CARVALHO, 2003). O turno de rega foi de 3 dias. As chuvas ocorridas durante o período de irrigação foram descontadas da quantidade de água aplicada. O balanço hídrico decendial do cultivo foi realizado pelo método de Thornthwaite e Mather, conforme Pereira et al. (2002). A precipitação pluvial efetiva (chuva efetiva) foi calculada subtraindo-se o excesso hídrico (determinado pelo balanço hídrico da cultura) da chuva total. A lâmina total aplicada no ciclo da cultura foi obtida somando a chuva efetiva mais a irrigação total.

As medidas e/ou estimativas das variáveis fisiológicas foram feitas a partir da taxa de fotossíntese líquida (A), concentração interna de CO₂ (C_i), transpiração (E), temperatura foliar (T_f), condutância estomática (g_s) e eficiência instantânea do uso da água (A/E). Essas variáveis foram obtidas utilizando o analisador de gás infravermelho (IRGA, ADC modelo LCi, Hoddesdon, UK) com fonte de luz acoplada de 2.000 mmol m⁻² s⁻¹, conforme a curva de resposta a luz determinada para a mandioca. Essas avaliações foram realizadas no sexto mês após o plantio, entre 8 e 10 horas da manhã, em duas plantas úteis, na quinta folha completamente expandida, contadas a partir do ápice do ramo principal da planta, no sentido descendente. As avaliações ocorreram nesse período do ciclo da cultura, por ser o mês subsequente ao período crítico de suscetibilidade da mandioca ao déficit hídrico, conforme Conceição (1979).

Posteriormente às avaliações, foi analisada a fluorescência da clorofila *a*, com auxílio de fluorômetro de luz modulada (*OptiSciences*, modelo OS1-FL, Hudson, USA), para obtenção das variáveis: rendimento quântico potencial do fotossistema II (F_v/F_m) e eficiência quântica efetiva do fotossistema II (Φ_{PSII}). As folhas analisadas foram adaptadas ao escuro por 30 minutos com cliques metálicos para se obter a Φ_{PSII} . Utilizando o clorofilômetro SPAD-502 (*Soil Plant Analysis Development Section*, Minolta Camera CO., Osaka, Japan) o teor de clorofila foliar também foi determinado indiretamente. O índice de área foliar (IAF) foi obtido bimestralmente durante o ciclo da cultura, com auxílio do aparelho LAI 3100 (Modelo Li-Cor,

Lincoln, Nebraska, EUA). Na determinação do índice de área foliar (IAF) retirou-se folhas de uma planta da área útil, em seguida submetidas ao scanner e os valores de área foliar (AF cm²) obtidos foram utilizados para estimar a razão entre área de solo e cobertura vegetal que corresponde ao IAF.

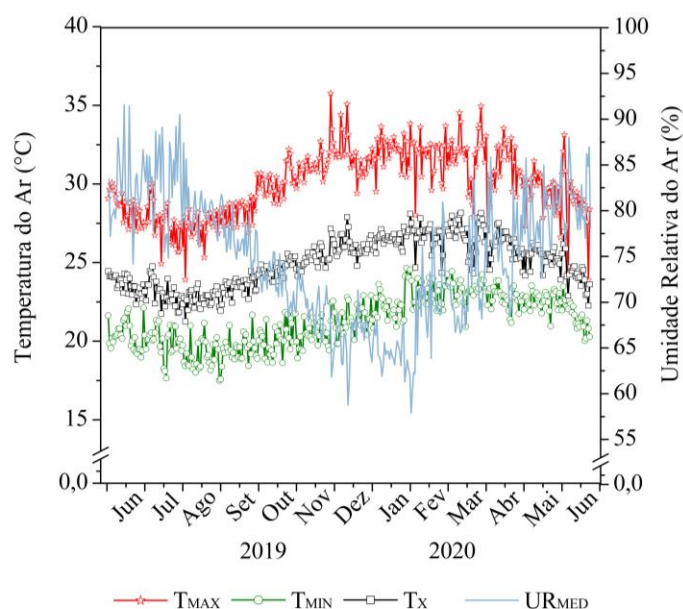
Ao término do experimento (355 DAP), durante a colheita final, foram avaliados os seguintes componentes de produção: número de raízes comerciais por planta (NRC), produtividade de raízes comerciais (PR, t ha⁻¹); produtividade de folhas (PF, t ha⁻¹); produtividade de caule (PC, t ha⁻¹) e biomassa total (raiz, caule e folha – BT, t ha⁻¹). Na determinação dessas variáveis, três plantas da área útil (10 m²) de cada parcela foram particionadas e pesadas em balança de precisão de 0,001g. Foram consideradas raízes comerciais, aquelas com diâmetro maior que 2 cm e comprimento superior a 10 cm, conforme recomendação de Tironi et al. (2015).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade e, quando significativos, foram submetidos a análise de regressão. Os coeficientes das regressões tiveram sua significância verificada pelo teste t a 5% de probabilidade. As variáveis significativas tiveram sua relação com a produtividade de raízes verificada através do coeficiente de correlação de Pearson (r).

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura do ar mínima média (T_{MIN}), durante o período experimental, foi $21,3 (\pm 1,6)$ °C, variando de $17,5$ °C (28 de agosto de 2019) a $23,6$ °C (23 de janeiro de 2020), a temperatura máxima média (T_{MAX}) foi $30,1 (\pm 2,1)$ °C, variando de $35,7$ °C (24 de novembro de 2019) a $23,9$ °C (15 de junho de 2020) e temperatura do ar média geral (T_{MX}) ficou em $25,1 (\pm 1,5)$ °C, com uma variação de $21,2$ °C (01 de agosto de 2019) a $28,1$ °C (06 de março de 2020). Isto indica que a temperatura do ar média na região de Rio Largo, AL, está dentro da faixa ótima para o crescimento e desenvolvimento da mandioca, que é de 25 a 29 °C (ALVES, 2002). Quanto à umidade relativa do ar (UR), a média geral diária foi $74,2 (\pm 6,8)$ %, com valores menores entre os meses de novembro de 2019 a janeiro de 2020, média de $66,1 (\pm 3,1)$ %, estação seca da região (Figura 3.1).

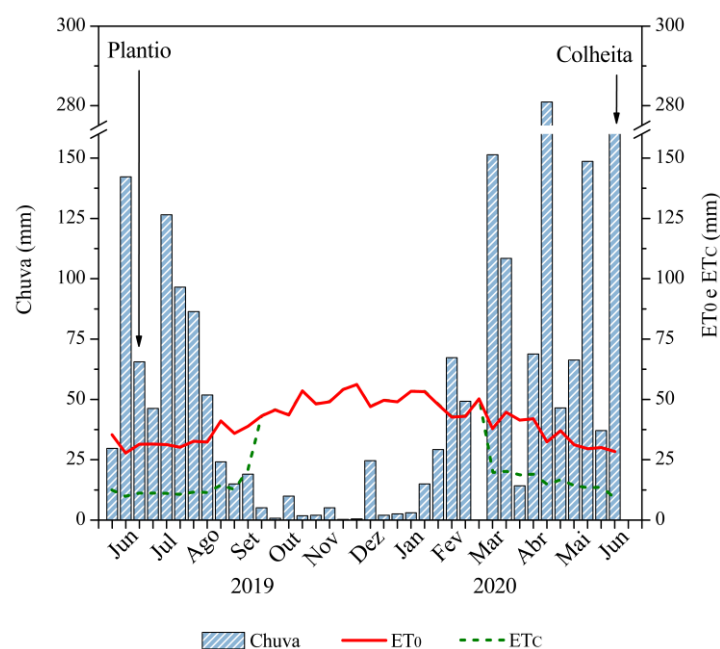
Figura 3.1. Temperaturas (°C) do ar mínima (T_{MIN}), média (T_X) e máxima (T_{MAX}) diárias e umidade relativa (%) do ar média diária (UR_{MED}), na região de Rio Largo, AL, no período de junho de 2019 a junho de 2020.



Fonte: Autor (2021).

A precipitação pluvial acumulada durante o período experimental foi 1.847 mm. O mês mais chuvoso foi abril (364 mm) e novembro o menos chuvoso ($7,4$ mm). A evapotranspiração de referência (ET_0) total durante o cultivo foi 1.454 mm. Os maiores valores de ET_0 foram registrados entre o final de setembro de 2019 e início de fevereiro de 2020, com média de $4,8 (\pm 0,7)$ mm.d⁻¹. A evapotranspiração da cultura (ET_C) acumulada no período de cultivo (355 dias) foi 1.030 mm, com média de $3,0 (\pm 1,8)$ mm.d⁻¹ (Figura 3.2).

Figura 3.2. Precipitação pluvial (chuva), evapotranspiração (mm) de referência (ET_0) e da cultura (ET_C), valores decendiais, na região de Rio Largo, AL, no período de junho de 2019 a junho de 2020.



Fonte: Autor (2021).

Na Tabela 3.1 constam as lâminas de irrigação totais aplicadas que variaram de 134 a 906 mm, de L_1 (40% da ET_C) a L_5 (200% da ET_C), a precipitação pluvial efetiva (chuva efetiva), o somatório da precipitação pluvial efetiva mais irrigação (lâmina total), e a produtividade agrícola particionada e total da mandioca na região de Rio Largo, AL.

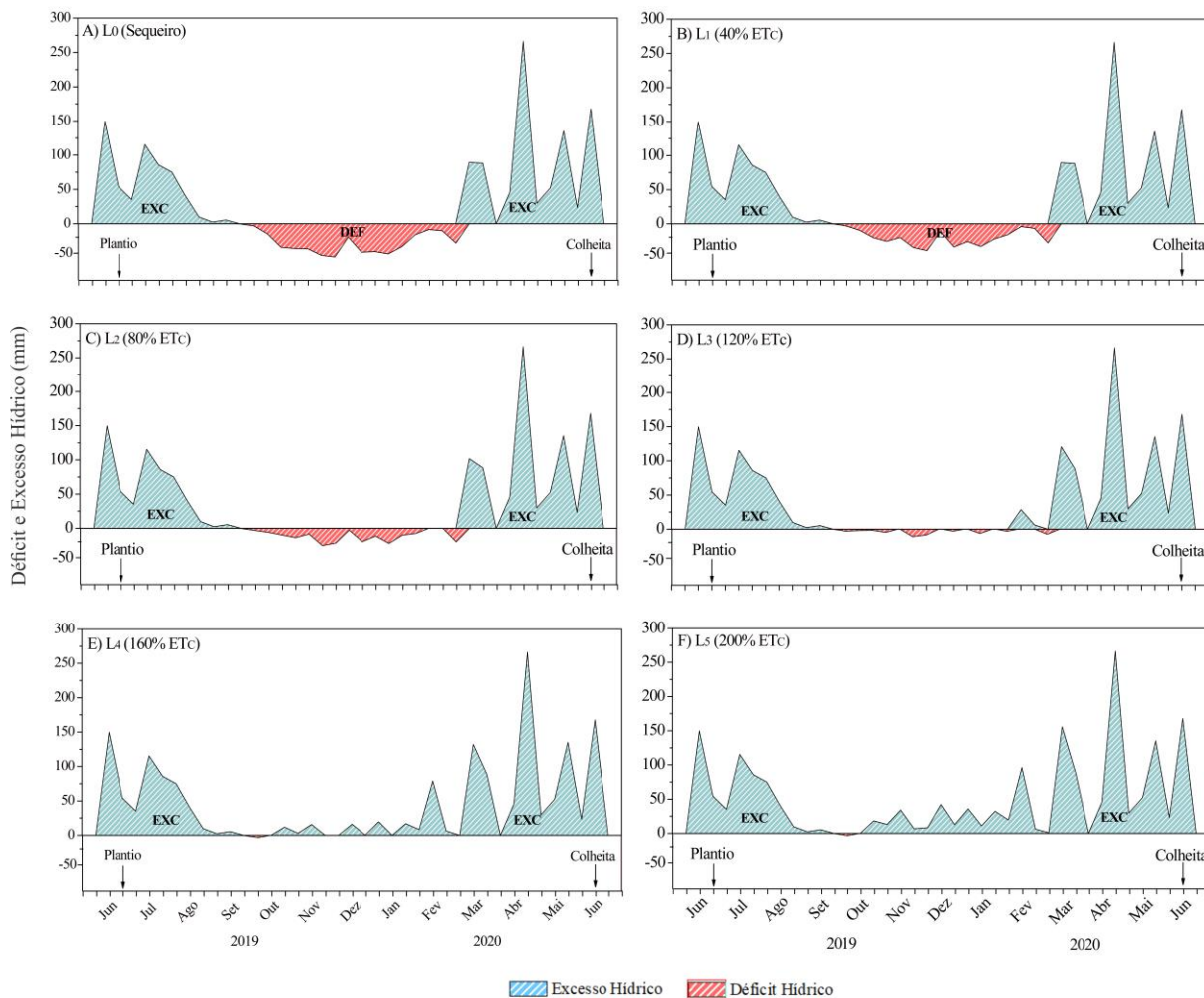
Tabela 3.1. Precipitação pluvial total (P_{TOTAL}) e efetiva (chuva efetiva), lâminas de irrigação brutas totais aplicadas (irrigação), o somatório da $P_{EFET.} +$ Irrigação (lâmina total) e produtividade agrícola particionada (raiz, caule e folha) e total durante o ciclo de cultivo da mandioca em Rio Largo, AL, no período de junho de 2019 a junho de 2020.

Níveis	Chuva Efetiva	Irrigação	Lâmina Total	Produtividade Agrícola			
				Raiz	Caule	Folha	Total
% ET_C	----- mm -----			----- t ha ⁻¹ -----			
Sequeiro	522	0	522	31,41	31,38	11,71	74,50
L_1	522	134	656	67,57	33,79	14,18	115,54
L_2	510	307	817	82,63	35,71	14,30	132,64
L_3	456	507	963	100,08	41,36	15,49	156,94
L_4	317	701	1.018	96,49	43,18	14,97	154,65
L_5	117	906	1.023	75,80	41,62	13,45	130,87
$P_{TOTAL} = 1.847$	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autor (2021).

Na Figura 3.3 são apresentados os balanços hídricos da cultura da mandioca para os diferentes níveis de irrigação, durante o período experimental. Nessa figura fica evidente a influência dos níveis de irrigação durante a fase intermediária de crescimento e desenvolvimento da cultura.

Figura 3.3. Balanço hídrico decendial da cultura da mandioca sob os níveis de irrigação, L₀ (A), L₁ (B), L₂ (C), L₃ (D), L₄ (E) e L₅ (F), com ênfase para o excesso e déficit hídrico na região de Rio Largo, AL, no período de junho de 2019 a junho de 2020.



Fonte: Autor (2021).

O déficit hídrico total da cultura da mandioca sem irrigação (L₀ – sequeiro) foi 508 mm, concentrando-se entre o terceiro decêndio de setembro de 2019 e o primeiro decêndio de fevereiro de 2020 (período seco da região), nesse período a precipitação pluvial acumulada foi 103 mm, 5,6% da chuva total durante o experimento. Isso evidencia a necessidade de irrigação no período. O excedente hídrico nas áreas de sequeiro (L₀) foi 1.323 mm e ocorreu nos meses de junho a setembro de 2019 e fevereiro a junho de 2020, período de maior acúmulo de chuva (1.744 mm), equivalente a 94,4% do total precipitado (Figura 3.3A). Durante o período de

irrigação (13 de outubro de 2019 a 13 de março de 2020) o total de chuva acumulado foi 212 mm, e o acumulado da ET_0 e ET_C foi 462 mm. Nesse período, a ET_0 e a ET_C foram iguais porque o K_C foi igual a 1,0 (um).

Nas parcelas irrigadas com 40% (L_1) e 80% da ET_C (L_2) também foram registrados déficits hídrico de 372 e 211 mm, respectivamente. E, o excedente hídrico nesses tratamentos foram 1.323 e 1.335 mm (Figura 3.3B e C). O excedente hídrico observado em parcelas irrigadas (mesmo com sub irrigação) aconteceu, em sua maior parte, durante a estação chuvosa e um pequeno percentual foi verificado durante o período de irrigação porque em alguns dias chovia poucas horas após a irrigação. Conceição (1979) e Alves (2002) afirmam que déficits hídricos prolongados até o quinto mês após o plantio prejudicam o estabelecimento da mandioca no campo, o que influencia negativamente as fases fenológicas de crescimento radicular e foliar da planta. Nas áreas irrigadas com as lâminas L_1 e L_2 , o déficit hídrico foi 134 e 295 mm menores que o déficit sofrido em sequeiro, indicando que, com esses níveis de irrigação, a mandioca também tende a sofrer redução do seu potencial produtivo, porém menos acentuado.

Os resultados do balanço hídrico das áreas irrigadas com 120% da ET_C (L_3) indicaram um déficit hídrico acumulado de 65 mm, e excesso hídrico total de 1.389 mm (Figura 3.3D). E, as parcelas irrigadas com as lâminas L_4 (160% da ET_C) e L_5 (200% da ET_C) apresentaram o mesmo déficit hídrico acumulado de 5,0 mm, mas o excedente hídrico foi diferente, 1.528 e 1.728 mm, respectivamente (Figura 3.3E e F). Entre o terceiro decêndio de setembro e o primeiro de outubro de 2019, ocorreu déficit hídrico de 5,0 mm para todos os tratamentos entre o final do período chuvoso na região e o início da irrigação, que se deu apenas no segundo decêndio de outubro. Entretanto, El-sharkawy (2007) ratifica que déficits hídricos curtos não reduzem consideravelmente o potencial produtivo da mandioca, devido mecanismos de tolerância à restrição hídrica. Os excessos hídricos diferentes entre os balanços resultaram da variação do total de água aplicado em função dos tratamentos.

Os níveis de irrigação provocaram diferença significativa a 1% de probabilidade nas variáveis: taxa de fotossíntese líquida, concentração interna de CO_2 , condutância estomática e transpiração. Em relação à fluorescência da clorofila *a* foram significativas ($p < 0,01$): a eficiência quântica efetiva e índice SPAD. Para os componentes de produção e crescimento: produtividade de raízes comerciais, biomassa total, e índice de área foliar, foram verificados efeitos significativos, a 5% de probabilidade. As outras variáveis (rendimento quântico potencial do fotossistema II, eficiência instantânea de uso da água, temperatura foliar, número de raízes comerciais, produtividade de caule e folha) não foram significativas (Tabela 3.2).

Tabela 3.2. Análises de variância das variáveis fisiológicas e de produção da mandioca sob níveis de irrigação na região de Rio Largo, AL, cultivada no período de junho de 2019 a junho de 2020.

QUADRADOS MÉDIOS						
Variáveis Fisiológicas (180 DAP)						
Causa de Variação	G.L.	SPAD	Φ PSII	Fv/Fm	A	Ci
		180 dias após o plantio				
Lâminas	5	175,644**	0,039**	0,001 ^{ns}	67,845**	1.917,531**
Bloco	3	4,471 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,000 ^{ns}	10,982*	348,828 ^{ns}
Linear	1	117,780 ^{ns}	0,177**	0,001 ^{ns}	254,069**	7.122,531**
Quadrática	1	540,614**	0,002 ^{ns}	0,005 ^{ns}	70,757**	323,910 ^{ns}
Resíduo	15	27,430	0,007	0,000	2,353	245,996
C.V. (%)		10,70	14,84	3,65	7,76	6,86
Variáveis Fisiológicas (355 DAP)						
Causa de Variação	G.L.	GS	A/E	Tf	E	IAF
		180 dias após o plantio				
Lâminas	5	0,041**	0,673 ^{ns}	0,522 ^{ns}	2,933**	2,923*
Bloco	3	0,003 ^{ns}	0,116 ^{ns}	0,876 ^{ns}	0,200 ^{ns}	0,909 ^{ns}
Linear	1	0,189**	1,912 ^{ns}	1,837 ^{ns}	12,209**	0,964 ^{ns}
Quadrática	1	0,003 ^{ns}	0,105 ^{ns}	0,394 ^{ns}	1,396**	9,052**
Resíduo	15	0,043	0,275	0,183	0,107	0,702
C.V. (%)		19,82	7,84	1,39	9,55	15,94
Componentes de Produção (355 DAP)						
Causa de Variação	G.L.	NRC	PR	PC	PF	BT
		180 dias após o plantio				
Lâminas	5	2,800 ^{ns}	2481,877*	94,287 ^{ns}	7,075 ^{ns}	3674,575*
Bloco	3	2,500 ^{ns}	439,664 ^{ns}	16,403 ^{ns}	9,888 ^{ns}	350,899 ^{ns}
Linear	1	2,057 ^{ns}	6078,690**	412,93 ^{ns}	8,617 ^{ns}	10245,917**
Quadrática	1	4,526 ^{ns}	6132,062**	19,599 ^{ns}	24,166 ^{ns}	7682,608*
Resíduo	15	3,133	693,529	75,103	11,726	1218,286
C.V. (%)		24,42	34,80	22,90	24,43	27,37

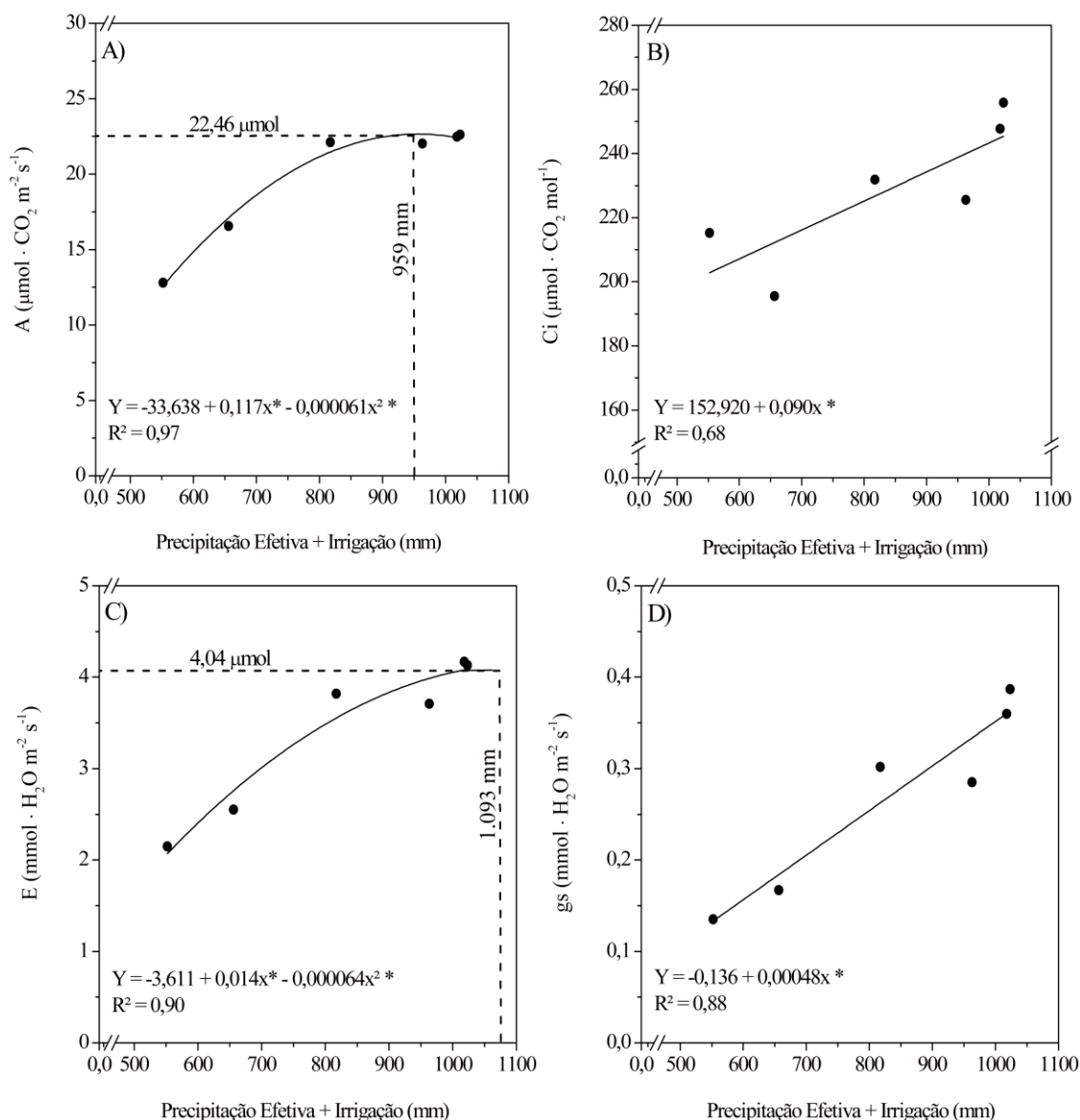
G.L. – Graus de liberdade; C.V. – Coeficiente de variação; ** - Significativo a 1%; * - Significativo a 5%; ^{ns} - Não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; SPAD - *Soil Plant Analysis Development Section*; Φ PSII - eficiência quântica efetiva; Fv/Fm - rendimento quântico potencial do fotossistema II; A - taxa de fotossíntese líquida; Ci - Concentração interna de CO₂; GS - Condutância estomática; A/E - Eficiência instantânea de uso da água; Tf - Temperatura foliar; E - Transpiração; NRC - Número de raízes comerciais; PR - Produtividade de raízes comerciais; PF - Produtividade de folhas; PC - Produtividade de caule; PT - Produtividade total.

Fonte: Autor (2021).

A taxa fotossintética líquida (A) da mandioca ajustou-se bem a um modelo quadrático. O menor valor estimado (11 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi obtido em parcelas sem irrigação (sequeiro). Enquanto, a máxima taxa fotossintética (22,5 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi verificada sob a lâmina total estimada de 959 mm, o que resultou em incremento de 104% no valor da fotossíntese líquida em relação ao menor valor estimado (Figura 3.4A). Isso indica que a taxa fotossintética líquida da mandioca foi reduzida devido ao déficit hídrico por falta de água. Quando o solo foi saturado com 200% da ET_C, equivalente a lâmina total (chuva efetiva mais

irrigação) de 1.023 mm, o excesso de água reduziu em 1% a taxa fotossintética estimada em relação ao maior valor obtido, sendo verificado a $22 \mu\text{mol}$ de $\text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Logo, acumulados superiores a 959 mm no ciclo da mandioca, tendem a reduzir o valor da taxa fotossintética líquida devido ao estresse provocado por excesso hídrico.

Figura 3.4. Taxa fotossintética líquida – A (A), concentração interna de CO_2 – C_i (B), transpiração – E (C) e condutância estomática – g_s (D) da mandioca sob níveis de irrigação, na região de Rio Largo, AL, cultivada no período de junho de 2019 a junho de 2020.



*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Fonte: Autor (2021).

Esses valores da taxa fotossintética da mandioca são próximos aos encontrados por Verissimo et al. (2010) e Pipatsitee et al. (2018), que obtiveram $17,32$ e $26,92 \mu\text{mol}$ de $\text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

$^2 \text{ s}^{-1}$, respectivamente, em plantas de mandioca sob irrigação plena. Esses pesquisadores enfatizam que sob estresse hídrico, a taxa fotossintética e a abertura estomática da mandioca são os mecanismos mais afetados, o que interfere em outros mecanismos, como, concentração interna de CO_2 e transpiração vegetal, o que provoca redução na produtividade da mandioca. Antwi et al. (2017) ratificam que o excesso de água no solo promove queda na concentração de oxigênio que acarreta o fechamento estomático e redução da taxa fotossintética e afeta negativamente o crescimento e desenvolvimento da planta.

O maior valor da concentração interna de CO_2 (C_i) foi $245 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ sob L_5 (200% da ET_C). Nas áreas sem irrigação (L_0) foram observados os menores valores de CO_2 , na ordem de $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ que resultou em queda de 18% na C_i em relação ao maior valor obtido (Figura 3.4B). A redução da C_i é um indício de que quando a mandioca é submetida ao déficit hídrico ocorre restrição na aquisição de CO_2 por parte da cultura, isso devido ao acúmulo da C_i no mesófilo foliar que está associado diretamente com o fechamento dos estômatos e a redução na assimilação de CO_2 (MAGALHÃES et al., 2017). Cruz et al. (2017) afirmam que sob estresse hídrico ocorre o fechamento estomático e restrição na difusão de CO_2 do ar para o cloroplasto, o que gera menores concentrações intercelulares de CO_2 nas plantas de mandioca. Por isso que nas áreas de sequeiro, há menor concentração interna de CO_2 e, conseqüentemente, também ocorreram menores taxas fotossintéticas sob esses tratamentos, como é visto na Figura 3.4A.

A taxa transpiratória (E) aumentou significativamente em resposta a irrigação. Sob a lâmina total estimada de 1.093 mm foi obtido valor máximo de E , $4,0 \mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Em áreas cultivadas em sequeiro (L_0), com chuva efetiva de 522 mm, foi observado o menor valor estimado de E , $1,9 \mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, redução de 52% na taxa transpiratória da mandioca em relação ao valor máximo estimado (Figura 3.4C). Resultado semelhante ($4,2 \mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi encontrado por Palta (1986), em plantas de mandioca sob irrigação plena, o autor também verificou que a ausência de irrigação por mais de uma semana acarretou redução da taxa transpiratória. Em geral, plantas sob estresse hídrico apresentam rápido fechamento estomático, evitando a perda de água pela transpiração. Magalhães et al. (2017) relatam que a redução da taxa de transpiração é uma das primeiras respostas da planta ao estresse hídrico. Além do conteúdo de água do solo, elementos meteorológicos como: temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar interferem no processo transpiratório da planta (VELTKAMP, 1985; WIRIYA-ALONGKORN et al., 2013).

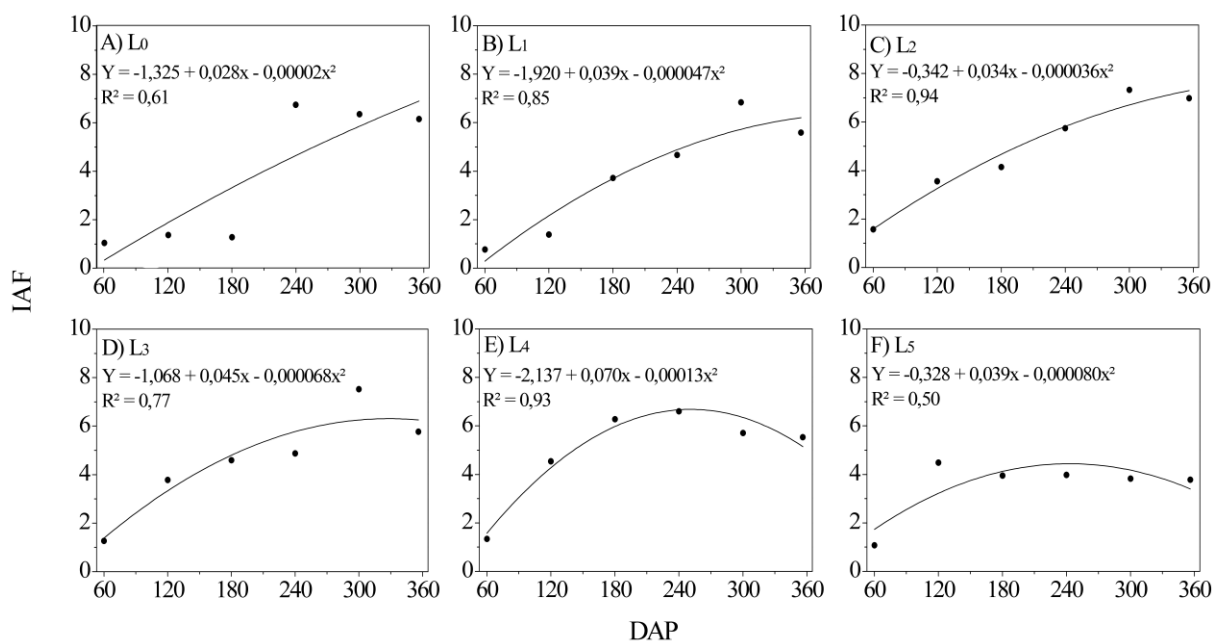
O maior valor estimado da condutância estomática (g_s) foi $0,35 \mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ obtido com o nível de irrigação L_5 (200% da ET_C), equivalente a irrigação total de 906 mm, e lâmina total (chuva efetiva mais irrigação) de 1.023 mm, incremento de 218% em relação ao menor valor estimado ($0,11 \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) sob condições de sequeiro (Figura 3.4D). Outros pesquisadores observaram um comportamento semelhante da mandioca sob diferentes níveis de irrigação para essa variável (El-Sharkawy, 2007; Turyagyenda et al., 2013; Cruz et al., 2016). Pipatsitee et al. (2018) ressaltam que a condutância estomática da mandioca possui elevada sensibilidade a escassez de água no solo e isso acaba interferindo também em mecanismos fisiológicos da planta. Medrano et al. (2002), ratificam que a g_s é o mecanismo que responde pela maior parte dos fatores internos e externos da planta, pelo fato de estar interligado ao efeito global do estresse hídrico sobre as variáveis fisiológicas. Veríssimo et al. (2010) salientam que a evapotranspiração e umidade relativa do ar no ambiente de cultivo estão diretamente relacionadas a ocorrência de chuvas, irrigação e a incidência de radiação solar que atuam sobre o déficit de pressão de vapor (DPV) do ambiente, principalmente, sob condições de estresse hídrico prolongado (sequeiro), aumentando a perda de água da planta para o ambiente através dos estômatos, o que resulta em menor condutância estomática. Essas evidências corroboram com os resultados obtidos nessa pesquisa.

O índice de área foliar (IAF) teve bom ajuste quadrático em todos os tratamentos (áreas com diferentes níveis de irrigação). O tratamento de sequeiro (L_0) foi influenciado pela escassez de chuva entre o último decêndio de setembro de 2019 e o primeiro decêndio de fevereiro de 2020, nesse período choveu apenas 103 mm. E, isso fez com que o IAF da cultura permanecesse estagnado e voltasse a crescer somente após o início das chuvas no segundo decêndio de fevereiro de 2020, quando choveu 63 mm. Pela equação de regressão quadrática, o IAF máximo estimado da mandioca cultivada sem irrigação (sequeiro) foi equivalente a 8,4, alcançado aos 700 DAP, período relativamente longo para a cultura da mandioca atingir o máximo acúmulo de massa foliar, o que dificulta a colheita da mandioca no período de um ano (período da pesquisa), uma vez que a cultura não concluiu seu ciclo fenológico e alocou fotoassimilados insuficientes em seu sistema radicular (Figura 3.5A). Isso ocorreu pelo fato da cultura ter sofrido déficit hídrico prolongado pela escassez de chuvas citada anteriormente.

Dentre os tratamentos irrigados, o maior IAF máximo foi 7,6 observado nas áreas irrigadas com o nível de irrigação L_2 (80% da ET_C), equivalente a lâmina total de 817 mm no ciclo de 12 meses da mandioca. O nível de irrigação L_5 (200% da ET_C), equivalente a maior lâmina total de 1.023 mm, obteve o menor IAF máximo, estimado em 4,4 (Figura 3.5). Odubanjo et al. (2011) estudaram o crescimento e produção de mandioca irrigada em ambiente

tropical numa densidade de 10 mil plantas por hectare, e observaram IAF de 4,3 sob irrigação plena, enquanto, sob condições de sequeiro o IAF foi reduzido a 2,5, o que evidencia o maior IAF em plantas irrigadas. De acordo com El-sharkawy (2007), condições de déficit hídrico geram redução de área foliar da mandioca e por isso, o IAF pode ser um indicativo de estresse hídrico sofrido pela cultura. Sob essas condições, a abscisão foliar da mandioca acontece com objetivo de gerar folhas de tamanho menor, visando redução da área foliar e uma menor perda de água por transpiração. A abscisão foliar é regulada pelo hormônio etileno e a mandioca sob estresse hídrico produz maiores quantidades desse hormônio que regula a perda de folhas em resposta a falta de água (Ogaddee et al., 2019). Além do déficit hídrico, níveis de irrigação mais elevados, como L₅ (200% da ET_C), geram menor IAF e isso indica que o excesso de água reduz a área foliar da mandioca devido ao estresse hídrico por excesso.

Figura 3.5. Índice de área foliar (IAF) da mandioca sob os níveis de irrigação, L₀ (A), L₁ (B), L₂ (C), L₃ (D), L₄ (E), L₅ (F), na região de Rio Largo, AL, cultivada no período de junho de 2019 a junho de 2020.

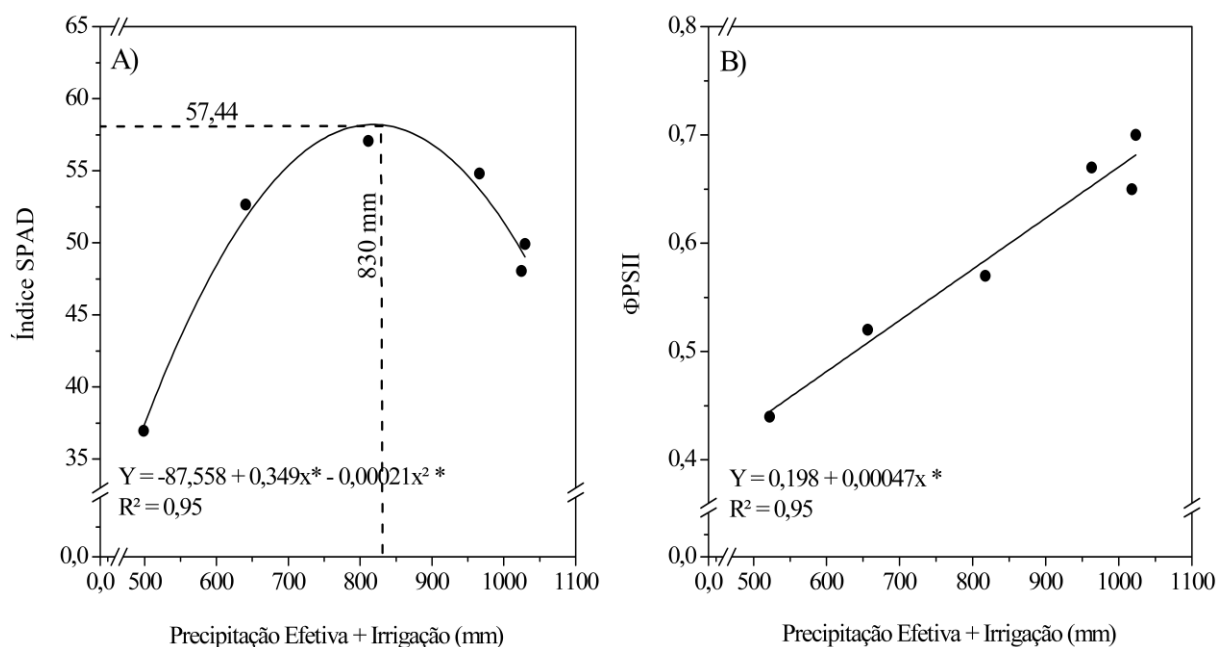


Fonte: Autor (2021).

O índice SPAD máximo (57) foi obtido com lâmina total estimada de 830 mm. Enquanto, no nível de irrigação L₀ (sequeiro) foi verificado o menor valor (37). Lâminas superiores a 830 mm provocaram redução do índice SPAD em 17% (47) nas áreas irrigadas com 200% da ET_C, equivalente a lâmina total de 1.023 mm (Figura 3.6A). Os maiores valores de índice SPAD indicam maior síntese de clorofila, conseqüentemente, maior atividade fotossintética da planta (GIL et al., 2002). Essa afirmação é corroborada com os resultados obtidos nessa pesquisa, em que o comportamento da variável índice SPAD em relação a taxa

fotossintética líquida se assemelharam, o que indica que o aumento da clorofila foliar resultou em ganhos fotossintéticos pela planta e demonstra que o teor de clorofila foliar da mandioca está interligado ao status hídrico da planta.

Figura 3.6. Índice SPAD (A) e eficiência quântica efetiva – Φ PSII (B) da mandioca sob níveis de irrigação na região de Rio Largo, AL, cultivada no período de junho de 2019 a junho de 2020.



*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

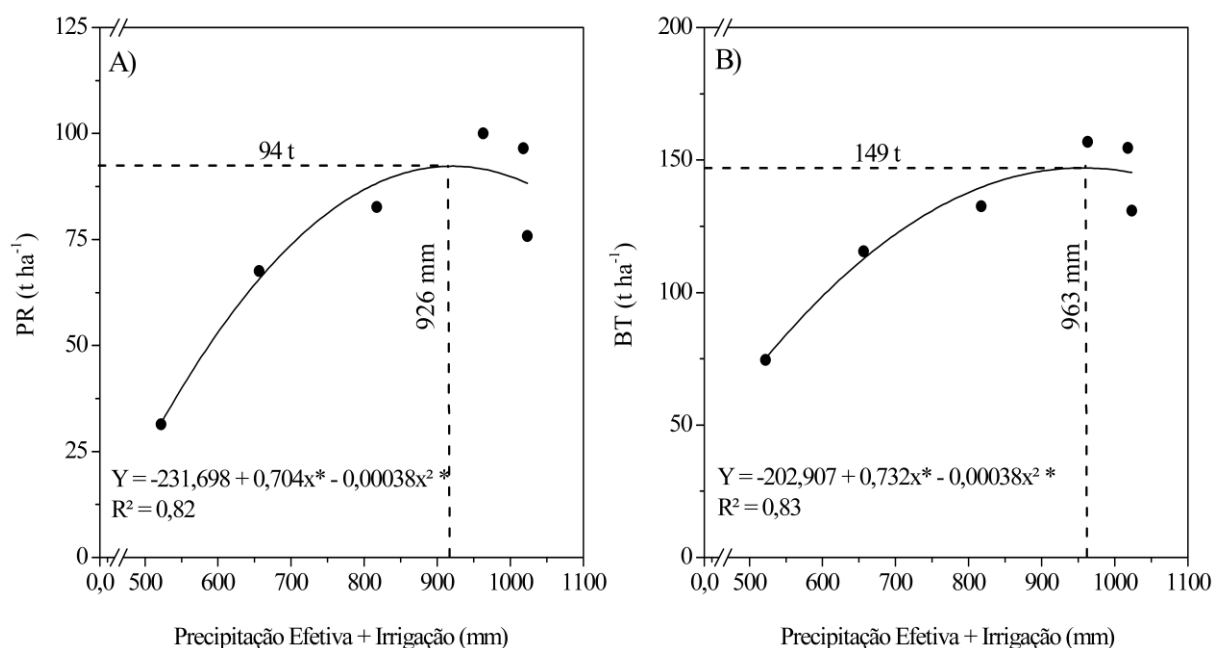
Fonte: Autor (2021).

Quanto a eficiência quântica efetiva (Φ PSII), o menor valor (0,44) foi identificado nas parcelas cultivadas em regime de sequeiro (L_0), com precipitação pluviométrica efetiva de 522 mm. Enquanto, nas áreas irrigadas com 200% da ET_C (L_5) foi constatado o maior valor (0,68), incremento de 54% na Φ PSII em relação ao menor valor (Figura 3.6B). Em estudo do comportamento fisiológico da mandioca em função da sazonalidade das chuvas, foi verificado que na estação seca a Φ PSII média de genótipos de mandioca é 0,58, enquanto na estação chuvosa, o valor médio sobe para 0,70 (SANTANOO et al., 2019). Esse comportamento foi semelhante ao observado nessa pesquisa, em que as plantas cultivadas sob maior disponibilidade de água obtiveram os maiores valores de Φ PSII. Magalhães et al. (2017) evidenciaram que o déficit de água no solo gera dano ao fotossistema II (PSII) de plantas, reduz a captação de energia pelos centros de reações e causa irregularidades na dissipação de energia fotoquímica e isso reduz a eficiência de captação de energia. Então, sob condições de sequeiro, a mandioca apresentou menor Φ PSII, possivelmente, devido a danos causados ao PSII pelo

déficit hídrico prolongado. Enquanto, nas parcelas irrigadas com a L_5 (200% da ET_C) ocorreu uma maior eficiência no transporte de elétrons pelo fotossistema.

As produtividades máximas de raízes comerciais (PR) e biomassa total (BT) foram 94 e 149 t ha^{-1} , respectivamente, com as lâminas totais estimadas de 926 e 963 mm, o que gerou incremento de 194 e 99%, respectivamente, em relação a PR (32 t ha^{-1}) e BT (75 t ha^{-1}) estimadas em áreas de sequeiro (L_0). Quando o solo foi saturado com 200% da ET_C (L_5), a PR e BT estimadas foram 91 e 148 t ha^{-1} , redução de 3 e 1% em comparação aos maiores valores obtidos, o que indica uma tendência de queda na produtividade com aplicação de lâminas totais superiores a 926 e 963 mm (Figura 3.7A e B).

Figura 3.7. Produtividade (t ha^{-1}) de raízes comerciais – PR (A) e biomassa total – BT (B) da mandioca sob níveis de irrigação na região de Rio Largo, AL, cultivada no período de junho de 2019 a junho de 2020.



*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Fonte: Autor (2021).

Os coeficientes de correlação (r) entre variáveis significativas e a produtividade de raízes comerciais (PR) encontram-se na Tabela 3.3. O maior valor de correlação (0,73) foi obtido entre a taxa fotossintética líquida e PR, valor satisfatório. Dado exposto, fica evidente que a taxa fotossintética líquida da mandioca foi a variável, dentre as estudadas, que teve maior relação e influenciou a PR da mandioca. Souza et al. (2020) afirmam que o aumento de produtividade da mandioca está relacionado a eficiência fotossintética da planta e que condições ideais de cultivo (livre de pragas e doenças, sem restrição hídrica e bem fertilizada) e a escolha

de genótipos fotossinteticamente eficientes, tendem a maximizar substancialmente a taxa fotossintética da cultura. Nesse contexto, fica nítido que áreas irrigadas tendem a obter maior taxa fotossintética e, conseqüentemente, maior produtividade de raízes.

Tabela 3.3. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis, condutância estomática (g_s), concentração interna de CO_2 (C_i), transpiração (E), taxa fotossintética líquida (A), índice SPAD, eficiência efetiva do PSII (Φ_{PSII}), índice de área foliar (IAF) e a produtividade de raízes comerciais (PR) da mandioca sob níveis de irrigação na região de Rio Largo, AL, cultivada no período de junho de 2019 a junho de 2020.

	G_s	C_i	E	A	SPAD	Φ_{PSII}	IAF
r	0,57**	0,42*	0,66**	0,73**	0,57**	0,46*	0,34 ^{ns}

** - Significativo a 1%, * - Significativo a 5%; ^{ns} - Não significativo pelo teste t a 5% de probabilidade.

Os dados obtidos nessa pesquisa evidenciaram que a mandioca cultivada sob estresse hídrico adota mecanismos de tolerância à seca que são: redução da condutância estomática, transpiração e área foliar para obter maior eficiência no uso da água. Sob essas condições, a taxa fotossintética líquida é afetada e isso resulta em menor produtividade. E essas evidências ressaltam a importância da irrigação para a cultura mandioca em regiões com má distribuição de chuvas, a exemplo do Nordeste do Brasil.

3.4. CONCLUSÕES

A evapotranspiração anual da cultura da mandioca, na região de Rio Largo, AL, é 1.030 mm e isso provoca um déficit hídrico de 508 mm, nas áreas de sequeiro, porque a chuva efetiva total é apenas 522 mm. O índice de área foliar máximo (7,6) é obtido em áreas irrigadas com nível de irrigação 80% da ET_C , equivalente a lâmina total (chuva efetiva mais irrigação) de 817 mm. As produtividades de raízes (94 t ha^{-1}) e biomassa total (149 t ha^{-1}) máximas são produzidas com lâminas totais de 926 e 963 mm, respectivamente.

A taxa fotossintética máxima ($22,5 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) é obtida com a lâmina total de 959 mm. Sob a lâmina total de 1.093 mm foi verificado o valor máximo de taxa transpiratória ($4,0 \mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Outras variáveis fisiológicas mais elevadas, como, concentração interna de CO_2 ($245 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática ($0,35 \mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e eficiência quântica efetiva (0,68) foram obtidas em áreas irrigadas com 200% da ET_C , equivalente a lâmina total de 1.023 mm. E, o índice SPAD máximo (57) é obtido em áreas irrigadas com lâmina total de 830 mm no ciclo de 12 meses da mandioca.

3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: Food Agriculture Organization of the United Nations, 1998. 301p.

ALVES, A. A. C. Cassava botany and physiology. *In*: Hillocks, R.J., Thresh, J.M., Bellotti, A.C. (Eds.), **Cassava: Biology, Production and Utilization**. p. 67–89, 2002.

ALVES, A. A. C.; SETTER, T. L. Response of Cassava to Water Deficit: Leaf Area Growth and Abscisic Acid. **Crop Science**, v.40, p.131–137, 2000.

ANTWI, B. O.; ASANTE, S. K.; YEBOAH, J. Drought assessment for reduced climate impact on cassava production. **Journal of Applied Sciences**, v.17, p.12-21, 2017.

CARVALHO, O. M.; **Classificação e caracterização físico-hídrica de solos de Rio Largo, cultivados com cana-de-açúcar**. 2003. P.74. (Dissertação mestrado em agronomia). Rio Largo: Universidade Federal de Alagoas, 2003.

CONCEIÇÃO, A. J. **A mandioca**. Cruz das Almas. UFBA/EMBRAPA/BNB/BRASCAN NORDESTE, 1979.

CRUZ, J. L.; ALVES, A. A. C.; LECAIN, D. R.; ELLIS, D. D.; MORGAN, J. A. Elevated CO₂ concentrations alleviate the inhibitory effect of drought on physiology and growth of cassava plants. **Scientia Horticulturae**, v.210, p.122–129, 2016.

CRUZ, J. L.; COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F.; SANTOS, A. A. Salinity reduces carbon assimilation and the harvest index of cassava plants (*Manihot esculenta* Crantz). **Acta Scientiarum**, v.39, p.545-555, 2017.

EL-SHARKAWY, M. A. Physiological characteristics of cassava tolerance to prolonged drought in the tropics: Implications for breeding cultivars adapted to seasonally dry and semiarid environments. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, p.257–286, 2007.

EZUI, K. S.; LEFFELAAR, P. A.; FRANKE, A. C.; MANDO, A.; GILLER, K. E. Simulating drought impact and mitigation in cassava using the LINTUL model. **Fiel Crops Research**, v. 219, p. 256-272, 2018.

FERNANDES, M. F. et al. **Alterações na fertilidade química dos solos em áreas de produção familiar de mandioca no território do alto sertão de alagoas.** *In:* XII Congresso Brasileiro de Mandioca, 2007, Paranaíba. Anais... Paranaíba, 2007.

GIL, P. T.; FONTES, P. C. R.; CECON, P. R. FERREIRA, F. A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, p.611-615, 2002.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geográfico e Estatística. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/188#resultado>. Acesso em: 06 nov. 2018.

MAGALHÃES, I. D.; LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; CAVALCANTE, C. A.; FERREIRA, R. A.; SOUZA, R. C. Physiology and Grain Yield of Common Beans under Evapotranspired Water Reposition Levels. **Irrigation & Drainage Systems Engineering**, v.6, p.1-8, 2017.

MATTOS, P. L. P.; FARIAS, A. R. N.; FERREIRA FILHO, J. R. **Mandioca: o produtor pergunta, a Embrapa responde.** Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006.

MEDRANO, H.; ESCALONA, J. M.; BOTA, J.; GULÍAS, J.; FLEXAS, J. Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. **Annals of botany**, v. 89, p. 895-905, 2002.

MELO NETO, D. F. COELHO, D. G. ANDRADE, M. T. ALVES, J. O. Initial growth of cassava plants cv. Mossoró under different water regimes. **Revista Agro@mbiente**, v.12, p.191-199, 2018.

ODUBANJO, O. O.; OLUFAYO, A. A.; OGUNTUNDE, P. G. Water Use, Growth, and Yield of Drip Irrigated Cassava in a Humid Tropical Environment. **Soil & Water Res.**, v.6, p.10–20, 2011.

OGADDEE, P. GIRDTHAI, T. **Physiological and ethylene accumulation responses of cassava under drought stress.** *In:* International Conference on Agricultural and Biological Sciences, 5, 2019, Macau. Anais... Macau: 2019.

PALTA, J.A. Photosynthesis, transpiration, and leaf diffusive conductance of the cassava leaf in response to water stress. **Canadian Journal of Botany**, v.61, p.373–376, 1983.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia (Fundamentos e aplicações práticas)**. Livraria e Editora Agropecuária. Guaíba – RS. 2002. 478p.

PIPATSITEE, A; EIUMNOH, A.; PRASEARTKUL, P.; TAOTA, K; KONGPUGDEE, S.; SAKULLEERUNGROJ, K.; CHA-UM, S. Application of infrared thermography to assess cassava physiology under water deficit condition. **Plant Production Science**, v.21, p.398-406, 2018.

ROYAL IRRIGATION DEPARTMENT (RID). Crop coefficient. Tailândia, 2010. Disponível em: http://water.rid.go.th/hwm/cropwater/CWRdata/Kc/kc_th.pdf. Acesso em: 04 abr. 2019.

SANTANOO, S.; VONGCHAROEN, K.; BANTERNG, P. Seasonal Variation in Diurnal Photosynthesis and Chlorophyll Fluorescence of Four Genotypes of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) Under Irrigation Conditions in a Tropical Savanna Climate. **Agronomy**, v.9, p.1-27, 2019.

SILVA, J.; OLIVEIRA, A. M. G.; DINIZ, M. S.; CARDOSO, C. E. L.; RODRIGUEZ, M. A. D.; NORONHA, A. C. S.; FERREIRA FILHO, J. R.; SANTOS, V. S. **Relato de elaboração do sistema de produção de mandioca para o extremo Sul da Bahia**. In: XIII Congresso Brasileiro de Mandioca, 2009, Botucatu. Anais... Botucatu, 2009.

SILVA, H. A.; MURRIETA, R. S. S. Mandioca, a rainha do Brasil? Ascensão e queda da *Manihot esculenta* no estado de São Paulo. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 9, p. 37-60, 2014.

SOUZA, J. L.; NICÁCIO, R.M.; MOURA, M.A.L. Global solar radiation measurements in Maceió, Brasil. **Renewable Energy**, v.30, p.1203-1220, 2005.

SOUZA, L. S.; SILVA, J.; SOUZA, L. D. **Recomendação de calagem e adubação para o cultivo da mandioca**. EMBRAPA, Cruz das Almas, 2009. 6 p. (Comunicado Técnico, 133).

SOUZA, A. P.; WANG, Y.; ORR, D. J.; CARMO-SILVA, E.; LONG, S. P. Photosynthesis across African cassava germplasm is limited by Rubisco and mesophyll conductance at steady

state, but by stomatal conductance in fluctuating light. **New Phytologist**, v. 225, p. 2498-2512, 2020.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955.

TIRONI, L. F., UHLMANN, L. O., STRECK, N. A., SAMBORANHA, K. F., FREITAS, C. P. O., SILVA, M. R. Desempenho de cultivares de mandioca em ambiente subtropical. **Bragantia**, v.74, p.58-66, 2015.

TURYAGYENDA, L. F., KIZITO, E. B., FERGUSON, M., BAGUMA, Y., AGABA, M., HARVEY, J. J. W., & OSIRU, D. S. O. Physiological and molecular characterization of drought responses and identification of candidate tolerance genes in cassava. **AoB Plants**, v.5, plt007. 2013.

VELTKAMP, H. J. **Physiological causes of yield variation in cassava (Manihot esculenta, Crantz)**. 1985. (PhD Thesis). Agric. Univ. Wageningen Papers, Wageningen. 1985.

VERISSIMO, V.; CRUZ, S. J. S; PEREIRA, F. F. M.; SILVA, P. B.; TEXEIRA, J. D.; FERREIRA, V. M.; ENDRES, L. Trocas gasosas e crescimento vegetativo de quatro variedades de mandioca. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v.6, p.232-240, 2010.

WIRIYA-ALONGKORN, W.; SPREER, W.; ONGPRASERT, S.; SPOHRER, K.; PANKASEMSUK, T.; MULLER, J. Detecting drought stress in longan tree using thermal imaging. **Maejo International Journal of Science and Technology**, v.7, p.166–180, 2013.

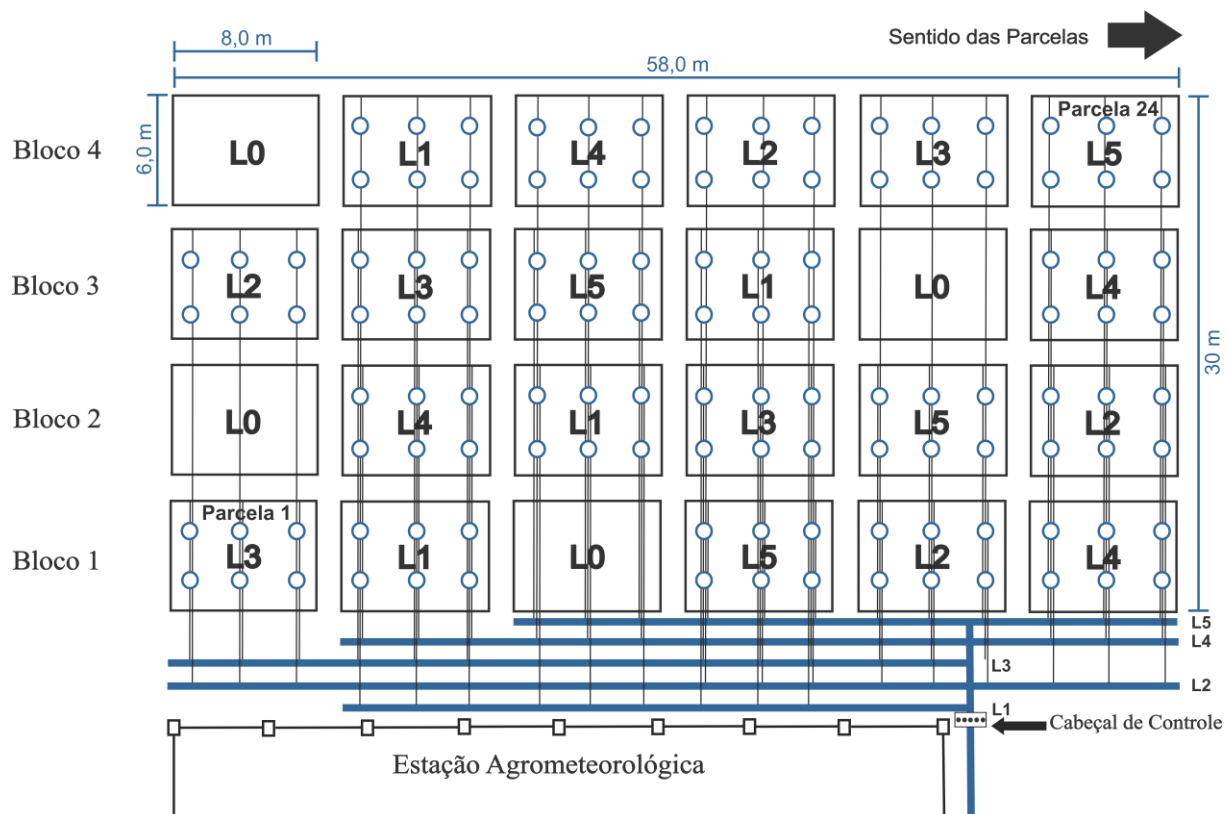
4. APÊNDICES

Apêndice 1. Croqui do experimento.

NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO:

L0 - Sequeiro L1 - 40% da ETc
 L2 - 80% da ETc L3 - 120% da ETc
 L4 - 160% da ETc L5 - 200% da ETc

○ - Microaspersor



Apêndice 2. Vista do experimento aos 135 e 355 DAP.



Apêndice 3. Solo preparado para o plantio.



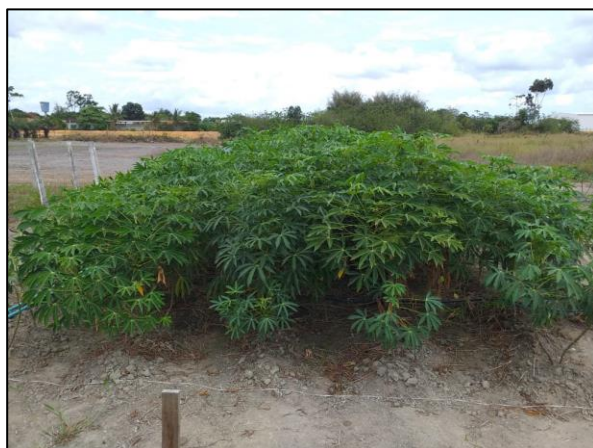
Apêndice 4. Retirada e transporte de manivas.



Apêndice 5. Instalação do experimento, adubação e sistema de irrigação.





Apêndice 6. Plantas do experimento aos 210 DAP.L₀ (sequeiro)L₁ (40% da ET_C)L₂ (80% da ET_C)L₃ (120% da ET_C)L₄ (160% da ET_C)L₅ (200% da ET_C)

Apêndice 7. Avaliações experimentais.

Apêndice 8. Plantas na colheita.