



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CARMEN GRASIELA DIAS MARTINS

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA UMIDADE DO SOLO CULTIVADO EM
DOIS SISTEMAS DE PLANTIO DE AÇAIZEIRO NO NORDESTE PARAENSE**

BELÉM

2020

CARMEN GRASIELA DIAS MARTINS

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA UMIDADE DO SOLO CULTIVADO EM
DOIS SISTEMAS DE PLANTIO DE AÇAIZEIRO NO NORDESTE PARAENSE.**

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

Área de concentração: Agronomia

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

BELÉM

2020

CARMEN GRASIELA DIAS MARTINS

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA UMIDADE DO SOLO CULTIVADO EM
DOIS SISTEMAS DE PLANTIO DE AÇAIZEIRO NO NORDESTE PARAENSE.**

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

Data da Aprovação

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza
Presidente/Orientador
Universidade Federal Rural da Amazônia

Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva
1º Examinador
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Augusto José Silva Pedroso
2º Examinador
Instituto Federal do Pará

Prof. Dr. Rodrigo Otávio Rodrigues de Melo Souza
3º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia

RESUMO

O açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma palmeira nativa do bioma amazônico de ocorrência natural em áreas de várzea, de grande exploração extrativista e produção sazonal concentrada no período com o menor regime pluviométrico da região. Com a crescente demanda pela polpa do fruto nos mercados nacionais e internacionais, houve a expansão produção para áreas de terra firme, porém ainda há muitas lacunas a respeito de como ocorre a interação com a dinâmica de água em solos de terra firme. O objetivo foi avaliar a variação espacial e temporal do teor de umidade do solo (θ_v) em dois sistemas de plantio do açazeiro, monocultivo e consorciado, para subsídio à implantação destes cultivos em áreas de terra firme e para melhoria do manejo de água. O experimento foi conduzido no ano de 2019 em um plantio comercial de açazeiro em Castanhal-PA, com área de aproximadamente 0,6 ha, implantado em dois sistemas de plantio, monocultivo e consorciado com a cultura do cupuaçuzeiro, sob duas lâminas de irrigação de 0% e 100% da evapotranspiração de referência (ET₀). Foram implantadas 12 baterias de tensiômetros de punção em cinco profundidades (0,1, 0,2, 0,3, 0,4 e 0,5 m) próximo as touceiras de açazeiro para monitoramento da tensão no solo nos diferentes sistemas de plantio. As coletas foram realizadas diariamente no período de 7 às 8 h da manhã utilizando tensímetro digital e régua, durante os meses de abril a dezembro. As umidades foram estimadas pelo modelo ajustado de Van Genuchten (1980) com base nas curvas de retenção das profundidades estudadas. Os valores médios e desvios-padrão do θ_v foram analisados nos dois sistemas de cultivo com e sem irrigação durante os nove meses de monitoramento. A estabilidade temporal do θ_v foi analisada pela diferença relativa e pela correlação de Spearman. Foi utilizada a análise multivariada de componentes principais (ACP) para identificar as associações do θ_v nas diferentes profundidades com as propriedades físicas, densidade de raízes e os elementos climáticos avaliados no período. Os resultados mostram que o tipo de sistema de cultivo com e sem irrigação influenciam na variabilidade espacial do θ_v , apresentando maior variação nos sistemas de sequeiro em todas as profundidades, respondendo aos eventos de precipitação, principalmente nas camadas de 0,1 a 0,3 m. A análise de estabilidade temporal identificou a área de consórcio como a mais representativa para as estimativas do θ_v nas camadas de 0,1 a 0,4 m, sendo a camada de 0,5 m melhor representada no monocultivo, enquanto que a matriz de correlação de Spearman, de modo geral, identificou em todas as áreas avaliadas instabilidade do θ_v , mesmo nas áreas irrigadas. Nas associações do θ_v e as propriedades físicas e densidade de raízes, o θ_v não se associou a nenhuma das características, enquanto que a associação com os elementos climáticos explicaram as variações que ocorreram durante o período de análise. Portanto, as variações do θ_v sofrem influência dos elementos climáticos relacionados com a evapotranspiração, principalmente no período identificado como seco e nas áreas que não recebem irrigação, onde todas as camadas sofrem grande variação.

Palavras-chave: Água no solo; Estabilidade Temporal; Tensiometria; *Euterpe oleracea*.

ABSTRACT

The açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) is a native palm of the Amazon biome, naturally occurring in lowland areas, with great extractive exploration and seasonal production concentrated in the period with the lowest rainfall in the region. With the growing demand for fruit pulp in national and international markets, there was an expansion of production to areas of terra firme, but there are still many gaps as to how the interaction with water dynamics occurs on terra soils. The aim was to evaluate the spatial and temporal variation of soil moisture content (θ_v) in two açaizeiro planting systems, monoculture and intercropped, to support the implantation of these crops in upland areas and to improve water management. The experiment was conducted in 2019 in a commercial açaizeiro plantation in Castanhal-PA, with an area of approximately 0.6 ha, implanted in two planting systems, monoculture and intercropped with the cupuaçuzeiro culture, under two irrigation levels of 0% and 100% of the reference evapotranspiration (ET₀). Twelve puncture tensiometer batteries were implanted at five depths (0.1, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5 m) close to the açaizeiro clumps for monitoring soil tension in the different planting systems. The collections were performed daily from 7 to 8 am using a digital tensiometer and ruler, from April to December. Moistures were estimated using the adjusted model of Van Genuchten (1980) based on the retention curves of the studied depths. The mean values and standard deviations of θ_v were analyzed in the two cultivation systems with and without irrigation during the nine months of monitoring. The temporal stability of θ_v was analyzed by the relative difference and Spearman's correlation. Principal component multivariate analysis (PCA) was used to identify the associations of θ_v at different depths with physical properties, root density and climatic elements evaluated in the period. The results show that the type of cultivation system with and without irrigation influences the spatial variability of θ_v , presenting greater variation in rainfed systems at all depths, responding to precipitation events, especially in the 0.1 to 0.3 m layers. The analysis of temporal stability identified the intercropped area as the most representative for the estimates of θ_v in the 0.1 to 0.4 m layers, with the 0.5 m layer being best represented in the monoculture, while the correlation matrix Spearman's, in general, identified instability of θ_v in all evaluated areas, even in irrigated areas. In the associations of θ_v and physical properties and root density, θ_v was not associated with any of the characteristics, while the association with climatic elements explained the variations that occurred during the analysis period. Therefore, variations in θ_v are influenced by climatic elements related to evapotranspiration, especially in the period identified as dry and in areas that do not receive irrigation, where all layers suffer great variation.

Keywords: Soil water; Temporal stability; Tensiometry; *Euterpe oleracea*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da área experimental de açaizeiro irrigado e consorciado com cupuaçuzeiro em Castanhal, Pará.	16
Figura 2 - Bateria de tensiômetros em cinco profundidades distantes 0,2 m da touceira de açaizeiro e distantes entre si por 0,1 m.	18
Figura 3 – Tensímetro utilizado nas coletas de tensão dos tensiômetros (a) e régua milimetrada (b) para obtenção da altura de água interna dos tensiômetros acima da superfície do solo.	19
Figura 4 - Curvas características para as diferentes profundidades no monocultivo (a) e no consórcio (b) da área experimental em Castanhal, Pará.	20
Figura 5 – Croqui de disposição espacial das calhas de coleta de precipitação efetiva abaixo do dossel de açaizeiro, entre linhas e entre plantas na área experimental.	22
Figura 6 – Precipitação efetiva no monocultivo e consórcio e evapotranspiração de referência (a), temperatura do ar e umidade relativa (b), déficit de pressão de vapor e velocidade do vento (c) em plantio comercial de açaizeiro em Castanhal-Pa durante o período de abril a setembro.	25
Figura 7 – Sazonalidade do teor de umidade no solo em cinco profundidades (0,1 a 0,5 m) em plantio de açaizeiro em monocultivo com lâmina de 0% da ET ₀ (sequeiro) e lâmina de 100% da ET ₀ (irrigado) em Castanhal-PA, Brasil. As barras verdes e azuis indicam os eventos de precipitação efetiva e irrigação, respectivamente.	27
Figura 8 - Sazonalidade do teor de umidade no solo em cinco profundidades (0,1 a 0,5 m) em plantio de açaizeiro em consórcio com cupuaçuzeiro com lâmina de 0% da ET ₀ (sequeiro) e lâmina de 100% da ET ₀ (irrigado) em Castanhal – PA, Brasil. As barras verdes e azuis indicam os eventos de precipitação efetiva e irrigação, respectivamente.	28
Figura 9 – Variação espacial no armazenamento de água no solo (Arm) nas camadas de solo de 0-0,5 m com intervalos de 0,1 m em plantio de açaizeiro em monocultivo (M) e consórcio (C) em Castanhal, Pará.	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise granulométrica e físico-hídrica do solo de monocultivo de açaizeiro (M) e de consórcio (C), com irrigação (100) e sem irrigação (0) da área experimental em Castanhal-PA, Brasil.	21
Tabela 2 – Densidade média e desvio padrão de raízes nas profundidades de 0,1 a 0,5 m nos sistemas de monocultivo (M) e consórcio (C) de açaizeiro, com irrigação (100) e sem irrigação (0) em Castanhal-PA, Brasil.....	22
Tabela 3 – Análise estatística descritiva do teor de umidade em plantio de açaizeiro nas diferentes profundidades no monocultivo (M) e consórcio (C) durante os meses de abril a setembro em Castanhal, Pará.....	26
Tabela 4 – Análise estatística das médias de teor de umidade no solo em plantio de açaizeiro em diferentes sistemas de plantio e diferentes profundidades durante os meses de abril a setembro.	30
Tabela 5 – Matriz de correlação de Spearman entre os meses de Abril a Dezembro (P4 a P12) nos tratamentos de monocultivo (M) e consórcio (C) de açaizeiro, com irrigação (100) e sem irrigação (0) em Castanhal-PA, Brasil.....	31

SUMÁRIO

1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	8
1.1. Revisão de Literatura	9
1.1.1. Açaizeiro.....	9
Caracterização botânica.....	9
Distribuição geográfica.....	10
Importância econômica.....	10
Transição Várzea-Terra Firme.....	11
Sistemas de cultivos	11
1.1.2. Micrometeorologia	12
1.1.3. Teor de Umidade no solo.....	13
Água no solo.....	13
Determinação do teor de umidade no solo	13
2. DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA UMIDADE DO SOLO CULTIVADO COM DOIS SISTEMAS DE PLANTIO DE AÇAIZEIRO NO NORDESTE PARAENSE.....	14
2.1. Introdução	14
2.2. Material e Métodos	16
2.2.1. Área de estudo.....	16
2.2.3. Teor de umidade.....	19
2.2.4. Características Físicas do Solo.....	21
2.2.5. Densidade de raízes.....	21
2.2.6. Precipitação efetiva	22
2.2.7. Evapotranspiração de referência	23
2.2.8. Delineamento experimental	23
2.2.9. Análise estatística.....	24
2.3. Resultados.....	24
2.4. Discussão.....	33
2.5. Conclusões	34
REFERÊNCIAS	35

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A crescente visibilidade do açaí, fruto do açaizeiro, no mercado nacional e internacional, promoveu um grande impacto no sistema produtivo dessa cultura que antes era essencialmente extrativista. De hábito cespitoso e adaptado a áreas que sofrem inundação, o açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma palmeira endêmica da região Amazônica que é muito apreciado pelas comunidades locais por constituir a base alimentar (OLIVEIRA et al., 2002; BRONDÍZIO; SAFAR; SIQUEIRA, 2002).

Muito além de questões alimentares, as propriedades do açaí ganharam mercados na área de estética e saúde, aumentando ainda mais a demanda pelo fruto o que promoveu o investimento no manejo das áreas de várzeas e expansão da cultura para áreas de terra firme (MARTINS et al., 2018; VASCONCELOS et al., 2019). Dessa forma, muitas tecnologias e pesquisas foram e são desenvolvidas para driblar as limitações nesses novos ambientes a fim de obter maiores produtividades e minimizar a sazonalidade da produção (HOMMA et al., 2006).

Nesse sentido, cultivares com aptidão para o desenvolvimento em solos de terra firme foram desenvolvidas por programas de melhoramento genético visando produtividades satisfatórias e bom rendimento de polpa do fruto como foi o caso do lançamento da cultivar BRS Pará (OLIVEIRA & FARIAS NETO, 2004). Além disso, para reduzir a sazonalidade da produção, isto é, aumentar os ganhos na entressafra, foi desenvolvida a cultivar BRS Pai d'Égua que além de ter uma escala de produção mais distribuída ao longo do ano, apresenta boa produtividade e menor diâmetro dos frutos quando cultivadas em sistemas irrigados de terra firme (FARIAS NETO, 2019).

Mesmo com tecnologias que partem desde a seleção das sementes e progênes até a pós-colheita e processamento do fruto, esse avanço não é uniforme sendo algumas áreas mais priorizadas que outras, ocasionando déficits de informações que influenciam no sistema de produção da cultura (CARVALHO et al. 2017; CARVALHO; NASCIMENTO, 2018).

Entre as tecnologias empregadas no sistema de produção do açaizeiro, está a utilização de irrigação para minimizar a deficiência hídrica no período seco. No entanto ainda há carências de informações que afetam o manejo da irrigação, como a falta do coeficiente da cultura (Kc), influenciando nos gastos energéticos e dos recursos hídricos (SILVESTRE et al., 2017).

Nesse sentido, o conhecimento de como ocorre a dinâmica de água nos solos de terra firme cultivados com açaizeiro ainda é muito incipiente. Sendo essa abordagem muito importante para a cultura, visto que o açaizeiro é natural de áreas que não há restrição hídrica (SANTOS et al., 2018), e o solo precisa responder a demanda hídrica da cultura para não comprometer a produção. Além disso, o açaizeiro é incorporado em outros sistemas de cultivo, consorciados com outras culturas para dinamização da economia de pequenos produtores (ALMEIDA; GAMA, 2014; ALMEIDA et al., 2018), configurando um outro ambiente que pode influenciar na dinâmica de água no solo.

Dessa forma, objetiva-se avaliar a variação espacial e temporal da umidade do solo com dois sistemas de plantio do açaizeiro, um monocultivo e outro consorciado com cupuaçuzeiro, para subsídio à implantação destes cultivos em áreas de terra firme e para melhoria do manejo de água.

1.1. Revisão de Literatura

1.1.1. Açaizeiro

Caracterização botânica

O açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma planta pertencente à família Arecaceae, incluída no gênero *Euterpe*, estando entre as espécies mais frequentes de um total de 28 espécies catalogadas do gênero. A *E. oleracea* juntamente com a *Euterpe precatoria* e *Euterpe edulis* são os indivíduos mais representativos do gênero, no entanto as duas primeiras são as mais apreciadas por seus frutos (YAMAGUCHI et al., 2015).

O crescimento desta palmeira é do tipo cespitoso, apresentando touceiras com números variados de perfilhos, dependendo do estágio de desenvolvimento do vegetal (SANTOS et al., 2018). A estipe apresenta altura de 3 a 20 m com variação de diâmetro de 7 a 18 cm, apresenta sistema radicular fasciculado e folhas compostas do tipo pinada. A inflorescência é do tipo cacho, envolvidas inicialmente na pré-floração por espatas, com abortamento das espatas na floração (OLIVEIRA et al., 2002).

Nas ráquulas do açaizeiro, estão inseridas tanto flores pistiladas como estaminadas dispostas em tríades onde cada flor feminina é ladeada por duas flores masculinas. O fruto, o qual é conhecido como açaí, é classificado como uma drupa globosa com variação no diâmetro, peso e coloração em decorrência dos estádios de maturação do fruto. A semente do açaí apresenta um embrião pequeno, com abundância em endosperma que possui várias fissuras (OLIVEIRA et al., 2002; YAMAGUCHI et al., 2015; CARVALHO & NASCIMENTO, 2018).

Distribuição geográfica

Naturalmente, a espécie *E. oleracea* ocorre em áreas de várzea, onde os solos são influenciados pela sazonalidade das inundações, sendo nativa do bioma Amazônico. No Brasil, sua distribuição geográfica é observada principalmente nas regiões norte e nordeste do país, sendo 46% das ocorrências registradas no estado do Pará. Além do estado do Pará, há registro de ocorrência nos estados do Amazonas, Amapá, Maranhão, Tocantins e Mato Grosso (VAZ & NABOUT, 2016).

Além do Brasil, o açaizeiro é encontrado em outros países da América Latina como Panamá, Equador, Venezuela, Peru, Guianas e Colômbia, que são áreas de abrangência da floresta Amazônica. Apesar da importância do fruto no contexto atual, nos outros países o valor da palmeira é associado ao palmito, o coração da palmeira, o qual é mais explorado pelo fato da palmeira ser abundante tanto em plantios puros quanto adensado com outras árvores em áreas de várzea (VALLEJO et al., 2014).

Importância econômica

Inicialmente, a cultura do açaí era reconhecida exclusivamente como a base da alimentação dos povos ribeirinhos e sua exploração era realizada de forma extrativista. No entanto, com a explosão demográfica e desenvolvimento de regiões metropolitanas como em Belém no Pará, a demanda pelo fruto cresceu ganhando mais notoriedade nos mercados locais, evidenciado no início da década de 1970 (OLIVEIRA et al., 2002; BRONDÍZIO; SAFAR; SIQUEIRA, 2002).

Na última década, a polpa do fruto ganhou visibilidade além dos mercados locais, conquistando mercados nacionais e internacionais, agregando maior valor para atender novos nichos de comércio. Muito além das questões alimentares e culturais, o fruto do açaizeiro ganhou aspectos de estética e saúde, em virtude do açaí ser rico em fibras, vitaminas e antocianinas, características que atraem consumidores seletivos e exigentes (NOGUEIRA; SANTANA; GARCIA, 2013; MARTINS et al., 2018; VASCONCELOS et al., 2019)

Para atender a necessidade da demanda crescente pelo fruto, os plantios começaram a ser manejados nas áreas de várzeas, além de adaptar os cultivos para áreas de terra firme, aumentando a produção do fruto nos estados produtores (YOKOMIZO et al., 2016; SILVESTRE et al., 2017). Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de açaí, sendo os estados do Pará e Amazonas responsáveis por 90% da produção nacional, com um volume de produção de 1.415.969 t e 103.204 t de frutos em 2017, respectivamente. Nesse cenário, apesar

do extrativismo ser por muito tempo a principal fonte do açaí, ultimamente o volume de produção da cultura é proveniente em mais de 85% de cultivos manejados (IBGE, 2019).

Transição Várzea-Terra Firme

A paisagem que compõe o bioma Amazônico é muito diversa e apresenta características peculiares de cada ambiente, como pode ser observado nas áreas denominadas de várzea e terra firme. As áreas de várzeas são ambientes dinâmicos que sofrem influencia dos rios, onde é encontrado grande quantidade de materiais suspensos em virtude das inundações sazonais. Enquanto que nas áreas de terra firme, são locais mais estáveis que não são influenciados pelos rios (RODRIGUES & OLIVEIRA, 1997).

Geralmente em áreas de várzeas, há a predominância de solos classificados como Gleissolos (RAPP PY-DANIEL, 2007). Nesses locais, os solos possuem má drenagem e os teores de argila e silte são mais elevados em relação as partículas de areia, além disso possui alta capacidade de trocas catiônicas (CTC) e alto teor de matéria orgânica em virtude da deposição de sedimentos que são transportados pelos rios e da decomposição de materiais senescentes, o que lhe confere a fertilidade desses solos (RAPP PY-DANIEL, 2007; CAMPOS et al., 2013).

Enquanto que em ambientes de terra firme, os solos são mais intemperizados e planos, sendo mais encontrado Latossolos nessa região, os quais são solos mais profundos e com boa drenagem, no entanto, são solos distróficos com $\text{pH} \leq 5$ que indisponibiliza a absorção de nutrientes importantes para o desenvolvimento dos vegetais (CAMPOS et al., 2012).

O açaizeiro é uma planta com adaptação e dominância em áreas de várzeas, onde é encontrado com grande densidade populacional em virtude de fatores como luminosidade, abundância nutricional dos solos e pela capacidade de perfilhamento. Com as inundações sazonais nesses ambientes, as palmeiras, como o açaizeiro, desenvolveram estruturas adaptativas como a formação de aerênquimas, lenticelas, pneumatóforos e raízes aéreas que permitem seu pleno desenvolvimento nos solos encharcados (JARDIM et al., 2007).

Sistemas de cultivos

Além de plantios manejados em áreas de várzeas e de cultivo em monocultura em áreas de terra firme, o açaizeiro é utilizado consorciados com outras culturas, como por exemplo em arranjos agroflorestais, conhecidos como sistemas agroflorestais (SAF's) (ALMEIDA; GAMA, 2014). No intuito de promover a diversidade da economia com o aumento da variedade de

produtos produzidos na área, há um aumento na biota da área em virtude das condições microclimáticas e propriedades do solo que esses ambientes proporcionam (SILVA et al., 2017).

Segundo Homma et al (2006), o plantio de açaizeiro é largamente empregado com culturas perenes como cacaueteiro (*Theobroma cacao*), cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) (ALVES, 2012), pimenteira-do-reino (*Piper nigrum*) entre outras, além de ser implantado em final de cultivos como no caso de maracujazeiro (*Passifora edulis*) e bananeira (*Musa spp.*) (ALMEIDA et al., 2018), em algumas situações é observado no aproveitamento de áreas de pastagens degradadas. No entanto, ainda se precisa de estudos complementares para entender se esses sistemas trazem viabilidade para o produtor que possui o açaizeiro como cultura principal.

1.1.2. Micrometeorologia

A micrometeorologia procura analisar e entender sobre as flutuações das variáveis meteorológicas na camada limite planetária ou na camada superficial em um espaço de tempo curto, compreendendo horas ou menos. Enquanto que na microclimatologia, são analisadas as mesmas variáveis em uma longa escala temporal, objetivando as variações diurnas e sazonais observando as tendências e padrões (ARYA, 2001).

Assim como a variação dos elementos meteorológicos que acontecem sobre uma vegetação alta difere do que acontece numa vegetação mais densa, os processos que acontecem dentro do dossel são diferentes ou respondem de forma diferente ao que acontece na superfície da vegetação. Em alguns casos, as variáveis meteorológicas apresentam estratificação em decorrência da altura da cobertura vegetal (FOKEN, 2017).

Em estudos realizados na Mata Atlântica, Ewers & Banks-Leite (2013) relatam que fragmentos menores que 50 ha são suscetíveis ao efeito de borda, principalmente com relação a temperatura nas camadas logo abaixo do dossel, o que não foi observado na temperatura próxima do solo e no solo, mostrando que o efeito tampão nesses estratos não são afetados e respondem lentamente as condições que acontecem na superfície do dossel.

Nesse sentido, Hardwick et al. (2015) evidenciaram que a estrutura do dossel juntamente com a altura das plantas provoca alteração no microclima interno de uma vegetação. Em virtude da entrada de radiação no dossel, isto é, em sistemas mais abertos em que a radiação atinge diretamente o solo, as temperaturas do ar aumentam em 6,5 °C com é observado no plantio de palma de óleo, enquanto que em florestas manejadas, esse elemento apresenta uma elevação de

até 2,5 °C. Esse comportamento de aumento é observado na temperatura do solo e no déficit de pressão do vapor, enquanto que é ocasionado uma diminuição da umidade relativa (HARDWICK et al., 2015).

1.1.3. Teor de Umidade no solo

Água no solo

O solo é um sistema trifásico com presença de fases sólida, líquida e gasosa. O material de origem ou parental juntamente com a matéria orgânica constituem a fase sólida. A fase líquida, é constituída pela água ou solução do solo, enquanto que a fase gasosa é composta pelos gases produzidos e consumidos pelos animais e pelas raízes das plantas. O solo é caracterizado por propriedades físicas, químicas e biológicas que são determinadas pelos fatores de formação dos solos, quanto ao material de origem, a evolução do clima e do relevo, além de levar em consideração os organismos que habitam e o tempo (SANTANA & SANS, 2013).

Além de funcionar com um suporte físico e fornecedor dos principais nutrientes para as plantas, o solo assume também o papel de reservatório de água. O arranjo das partículas do solo formando grânulos e agregados constituem o meio poroso que influencia em processos como na interação solo-planta-atmosfera, principalmente nos termos de energia da água que é traduzida em potencial, a qual controla o movimento da água, nutrientes, sais no solo, além da absorção de água e nutrientes pela planta (FIDALSKI et al., 2013; LEPSCH, 2016).

O conteúdo de água no solo representa o quanto de água pode ser armazenado no solo e em cada camada, sendo esse conteúdo relativo ao que está entre o intervalo do ponto de murcha permanente, no qual refere-se ao ponto em que o teor de água não pode ser retirado da matriz do solo, e o ponto de saturação do solo, correspondendo ao momento de encharcamento em que todos os poros do solo estão completamente preenchidos (MAROUELLI et al., 2012).

As condições em que a água no solo está na capacidade de campo são as ideais para manter o pleno crescimento e desenvolvimento da planta sem haver limitações por déficit hídrico. A água no solo pode ser recarregada principalmente por precipitação e ascensão capilar, em algumas regiões há a necessidade de recorrer a sistemas de irrigação para evitar o comprometimento da produção vegetal, pois a demanda por evapotranspiração supera a quantidade de água disponível no solo (BRUNO et al., 2006).

Determinação do teor de umidade no solo

O teor de água no solo pode ser determinado por diversos métodos, mas isso vai depender do objetivo e a viabilidade na utilização dos materiais e instrumentos. Ainda assim,

existem vários fatores que dificultam a obtenção dessa informação, pois a água no solo é de caráter dinâmico e facilmente apresenta alteração espacial, tanto horizontalmente quanto verticalmente, e temporal, além de ser influenciado pelo manejo do solo, o tipo de sistema radicular da planta, o relevo e entre outros fatores (ANDRADE; BORGES JÚNIOR; COUTO, 2008).

O método clássico para a determinação desse teor no solo é o processo gravimétrico que consiste na coleta de amostras de solos, podendo ser simples ou compostas, em diferentes áreas e profundidades. Dependendo do objetivo, as amostras podem ser do tipo deformadas e não deformadas, sendo essa última necessária a utilização de trado especializado e utilização de latas de alumínio para preservação da estrutura da amostra. O teor de umidade é determinado pela pesagem das amostras no momento inicial e depois de atingir peso constante com a secagem na estufa (BUSKE et al., 2014).

Alguns métodos determinam o teor de umidade no solo de forma indireta utilizando as propriedades do solo, como é o caso dos métodos de reflectometria no domínio do tempo (TDR) e reflectometria no domínio da frequência (FDR) que utilizam as mudanças nas propriedades dielétricas do solo para estimar o teor de umidade. No entanto, esses métodos precisam ser calibrados para cada tipo de solo em que são utilizados para minimizar o erro de estimativa desses sensores (SOUZA et al., 2013).

O potencial de água no solo é outra propriedade utilizada na estimativa do teor de umidade no solo por meio de tensiômetros e psicrômetros, convertendo os valores com base na curva característica de retenção de água no solo. Esses instrumentos utilizam cápsulas e são baseados no princípio de equilíbrio entre a solução do solo e o interior do instrumento. Em alguns locais, o tensiômetro é utilizado como uma ferramenta no manejo da irrigação por sua praticidade e baixo custo de aquisição (VAN DER PLOEG et al., 2008; AZEVEDO et al., 2017).

2. DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA UMIDADE DO SOLO CULTIVADO COM DOIS SISTEMAS DE PLANTIO DE AÇAIZEIRO NO NORDESTE PARAENSE.

2.1. Introdução

O açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma palmeira endêmica da floresta Amazônica, de comportamento cespitoso e ocorrência natural em áreas de várzeas (VAZ; NABOUT, 2016). Por muito tempo foi explorada de forma extrativista para obtenção do palmito, e seu fruto, açaí, há tempos foi apreciado apenas localmente sendo a base da alimentação ribeirinha. Após a década de 70, o fruto ganhou notoriedade nos mercados locais e, atualmente conquistou mercados nacionais e internacionais, com motivações além da alimentação em virtude dos benefícios contidos no fruto (BRONDÍZIO; SAFAR; SIQUEIRA, 2002; VASCONCELOS et al., 2019)

Com o aumento da demanda pelo fruto, além de realizar o manejo de açaiçais nativos, as áreas plantadas expandiram para áreas de terra firme (YOKOMIZO et al., 2016). Nesse cenário produtivo, os estados do Pará e Amazonas respondem por mais de 90% da produção, sendo que grande parte da produção atualmente é proveniente de plantios cultivados, em sua maioria em terra firme, correspondendo a 80% da produção nacional com um volume de produção de 1.092.205 t em 2016 (IBGE, 2019).

Apesar da expansão da cultura para áreas de terra firme, ainda são encontrados muitos desafios para alcançar o aumento da produtividade do açaizeiro e a diminuição da sazonalidade no fornecimento de frutos para o mercado (HOMMA et al., 2006). Alguns tratamentos culturais são empregados para amenizar essas limitações, entre eles está a utilização de sistemas de irrigação para suprir a demanda hídrica da planta no período seco (SILVESTRE et al., 2017). No entanto, ainda não se sabe o coeficiente da cultura e informações sobre como ocorre a dinâmica de água nesses solos cultivados com açaizeiro.

Além do arranjo em monocultivo, o açaizeiro é encontrado consorciado com outras culturas, em alguns casos em arranjos denominados sistemas agroflorestais (SAF's) no intuito de otimizar o uso da terra, diversificando a produção, conservando o solo e diminuindo a pressão no uso da terra para o cultivo agrícola (ALVES, 2012; ALMEIDA; GAMA, 2014; ALMEIDA et al., 2018) . Ao consorciar culturas diferentes, é esperado que haja diferenças em diversos aspectos, como no microclima e no teor de umidade no solo, pois esses fatores afetam diretamente a evapotranspiração das plantas.

O teor de umidade no solo corresponde a quantidade de água em um determinado volume ou massa de solo, contido nos espaços porosos do solo, variando conforme a densidade, estrutura e textura do solo. A água no solo é essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo captada pelas raízes com menos de 1% assimilada pela planta, sendo em sua

maioria envolvida na transpiração da planta, realizando a osmorregulação e transporte de solutos (SCHERER; FRANZEN; CIHACEK, 2017).

O teor de umidade no solo sofre variação temporal e espacial, e dependendo do tipo de cobertura vegetal, essa variação pode afetar o desenvolvimento da planta, pois influencia diretamente no armazenamento de água no solo (ZENG et al., 2011; YAO et al., 2016). Em alguns casos ou períodos, com a elevada demanda hídrica do vegetal, há a necessidade de utilizar sistemas de irrigação para manter o solo com o teor adequado de água para não prejudicar a produção vegetal (PEREIRA et al., 2017).

Portanto, o objetivo foi avaliar a variação espacial e temporal da umidade do solo com dois sistemas de plantio do açaizeiro, um monocultivo e outro consorciado com cupuaçuzeiro, para subsídio à implantação destes cultivos em áreas de terra firme e para melhoria do manejo de água no nordeste paraense.

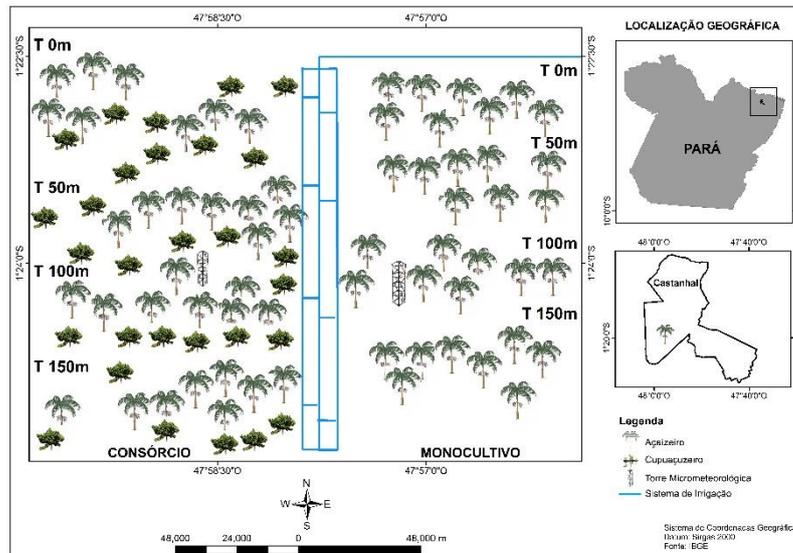
2.2. Material e Métodos

2.2.1. Área de estudo

O experimento foi conduzido em uma propriedade privada, situada ao lado da fazenda escola da Universidade Federal Rural da Amazônia na cidade de Castanhal – Pará, sob as coordenadas 1° 17' 50 S e 47° 55' 20" W. A classificação climática da região, segundo Köppen-Geiser, é do tipo Am, definido como monção tropical (ALVARES et al., 2014). A região é caracterizada por temperatura entre 23 a 31°C com média anual de 26,5° C e precipitação média anual de 2432 mm, sendo o mês mais chuvoso em março (410 mm) e o mês mais seco em novembro (63 mm). O solo da área é classificado como Latossolo amarelo distrófico de textura franco-arenosa (SANTOS et al., 2018).

A área total apresenta extensões de 203,8 x 57,7 m (aproximadamente 1,17 ha), sendo que a área experimental corresponde a 51% da área total com dimensões de 104,4 x 57,7 m. Na área experimental (Figura 1), está implantada a cultura do açaizeiro (*E. oleracea* Mart.), em uma área denominada como monocultivo com dimensões de 52,2 x 57,7 m, e o açaizeiro em consórcio com o cupuaçuzeiro (*T. grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum.), localizado na área denominada como consórcio de 52,2 x 57,7 m, ambos os plantios com sete anos e espaçamento de 4 x 4 m.

Figura 1 - Localização da área experimental de açaizeiro irrigado e consorciado com cupuaçuzeiro em Castanhal, Pará.



Fonte: Joyse Tatiane dos Santos.

Cada área, tanto de consórcio como de monocultivo, está dividida em quatro blocos de 52 x 14,5 e em cada bloco está configurado um tipo de lâmina de irrigação calculados em função da evapotranspiração de referência (ET₀). Os tratamentos monitorados estão identificados por T0 e T100, onde o T0 corresponde ao bloco sem irrigação e o T100 é o bloco com lâmina de 100% da ET₀.

O sistema de irrigação implantado é do tipo localizado por microaspersão, constituído por um microaspersor por planta com vazão de 26 L h⁻¹ com uma pressão de serviço de 4 mca, e eficiência de 84%. A bomba utilizada é do tipo submersa com potência de 3 cv localizada a 170 m da área experimental. A irrigação é acionada ou cessada conforme o regime pluviométrico da região.

No centro da área foi implantado uma torre micrometeorológica de 17 m de altura, a qual foi instrumentada acima e abaixo do dossel com sensores de temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar global incidente, radiação solar refletida, radiação fotossinteticamente ativa, precipitação, umidade do solo, temperatura do solo, velocidade e direção do vento. Estes sensores foram programados a um datalogger (CR1000, *Campbell Scientific*) que realizava leituras a cada 10 segundos e gravação das médias e totais a cada 20 minutos.

2.2.2. Monitoramento do teor de umidade no solo

Para o monitoramento do teor de umidade no solo foi utilizado tensiômetros de punção de diferentes tamanhos, adequados para diferentes profundidades. Foram implantadas 12 baterias de tensiômetros de punção em cinco profundidades (0,1, 0,2, 0,3, 0,4 e 0,5 m) totalizando 60 tensiômetros na área, sendo seis baterias em cada sistema de cultivo e três

baterias em cada tratamento de lâmina. Os tensiômetros numa bateria, foram implantados com a distância de 0,1 m um do outro e 0,2 m da touceira de açazeiro (Figura 2), para melhor acompanhar a dinâmica de água no solo no cultivo da cultura (COELHO; SILVA; MIRANDA, 2010). A profundidade do sistema radicular do açazeiro foi considerada para a profundidade 0,4m, em virtude da raiz efetiva do açazeiro estar distribuída até a camada de 0,4 m (GÓES; AUGUSTO; MARTINS, 2004).

Figura 2 - Bateria de tensiômetros em cinco profundidades distantes 0,2 m da touceira de açazeiro e distantes entre si por 0,1 m.

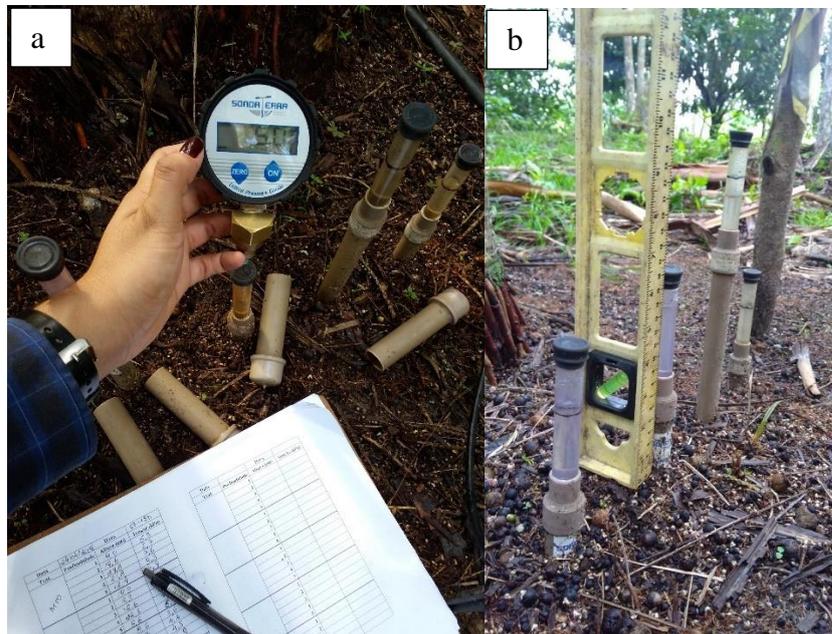


Fonte: O Autor.

Antes da implantação dos equipamentos, as tampas dos tensiômetros de punção foram removidas, e as hastes com as cápsulas foram colocadas em um recipiente com água destilada durante 24 h, garantindo saturação da cápsula porosa. Para a instalação dos equipamentos no campo, foi realizado um furo preferencialmente em solo úmido, com trado do tipo rosca para cada profundidade, além de utilizar o solo saturado de cada profundidade para ambientar a cápsula porosa. O interior do tensiômetro foi preenchido com água destilada até uma determinada altura que possibilitasse as leituras da altura da água, depois disso foi colocado a rolha de silicone e retirado o ar de dentro do equipamento utilizando uma seringa.

Os dados foram coletados, diariamente, utilizando tensímetro digital (Figura 3a) e régua (Figura 3b) milimetrada, sendo o primeiro utilizado para a coleta da tensão no tensiômetro e o segundo para mensurar a altura de água dentro do tensiômetro acima do solo. As leituras foram feitas no intervalo de 7 às 8h, e no período de acionamento da irrigação, o sistema era acionado após a realização das leituras matutinas.

Figura 3 – Tensímetro utilizado nas coletas de tensão dos tensiômetros (a) e régua milimetrada (b) para obtenção da altura de água interna dos tensiômetros acima da superfície do solo.



Fonte: O Autor.

O tensímetro digital fornece leituras de tensão em quilopascal (kPa), enquanto que a régua em centímetros (cm). Os dados são anotados e passados para uma planilha eletrônica para realizar o cálculo do potencial matricial (ψ_m), segundo a equação 1 (AZEVEDO et al., 2017).

$$\psi_m = (Z + h_1 - L) * 0,0981 \quad Eq.(1)$$

Em que ψ_m corresponde ao potencial matricial, em kPa; o Z é a distância entre a cápsula e a superfície do solo, em cm; o h_1 é a altura da água no tensiômetro acima da superfície do solo, em cm; enquanto o L corresponde a leitura do tensímetro, em cca.

2.2.3. Teor de umidade

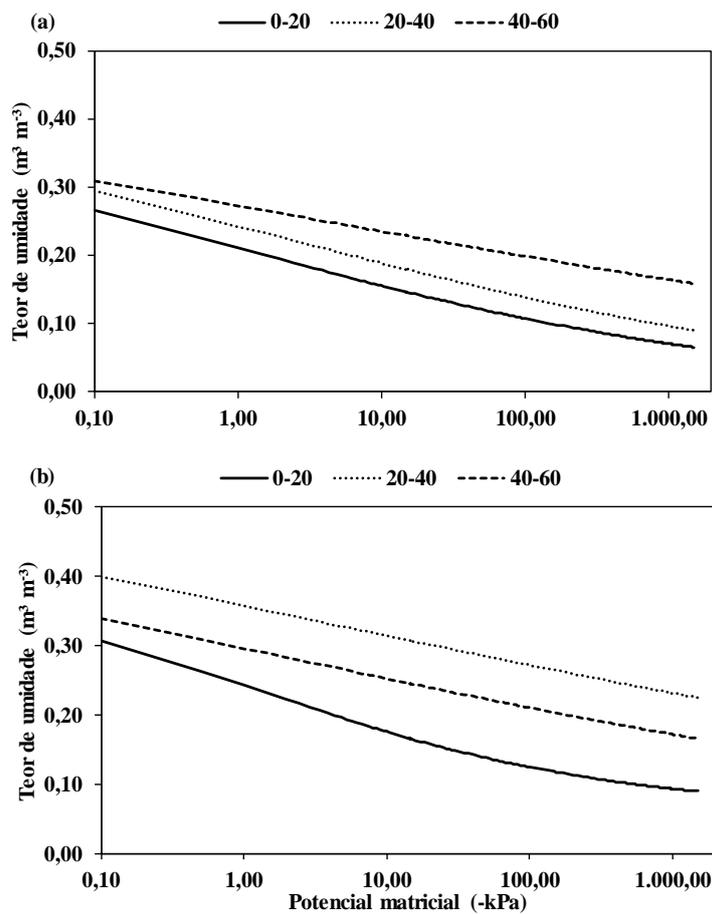
Para a determinação da curva de retenção de água no solo, foram coletadas amostras indeformadas e deformadas nos dois sistemas de cultivo nas camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm. As amostras não deformadas foram coletadas com auxílio de amostrador do tipo Uhland, saturadas, posteriormente levadas à mesa de tensão para obtenção das umidades correspondentes às tensões de 0,1 até 70 kPa, pelo processo de secagem, após estabilização. As amostras deformadas foram peneiradas, obtendo-se agregados menores que 2,0 mm, saturadas e levadas ao WP4, para estabilização e posterior determinação da umidade correspondente às tensões de 100, 500, 1000 e 1500 kPa.

A seguir, foi realizada o ajuste da equação proposta por Van Genuchten (1980) para obtenção dos parâmetros característicos do solo em estudo, a qual é descrita pela equação 2.

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

Sendo θ a umidade volumétrica, ψ_m o potencial matricial, com $m = 1-1/n$ (MUALEM, 1976); θ_R e θ_S a umidade volumétrica residual e na saturação, respectivamente. Enquanto n e α são parâmetros de ajuste. Após a realização dos ajustes da equação, com base nas curvas de retenção para as camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm para cada sistema de cultivo (Figura 4), foi utilizado os parâmetros ajustados para a obtenção da umidade volumétrica com base nas tensões coletadas em campo.

Figura 4 - Curvas características para as diferentes profundidades no monocultivo (a) e no consórcio (b) da área experimental em Castanhal, Pará.



Fonte: O Autor.

2.2.4. Características Físicas do Solo

Foram coletadas amostras de solos indeformadas e deformadas para a determinação das características granulométricas e físicas do solo nos dois sistemas de cultivo. A granulometria foi determinada pelo método da pipeta, utilizando o NaOH como dispersante químico e agitação mecânica por 16 h. A argila foi determinada por sedimentação, o teor de areia por peneiração e o teor de silte por diferença entre as partículas (Tabela 1). A granulometria foi classificada como arenosa (SANTOS et al, 2018). O teor de umidade na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente foi determinado pela curva de retenção na mesa de tensão e no WP4, respectivamente. Enquanto a densidade do solo foi obtida pelo método do cilindro de Umland (DONAGEMA et al., 2011).

Tabela 1 - Análise granulométrica e físico-hídrica do solo de monocultivo de açaizeiro (M) e de consórcio (C), com irrigação (100) e sem irrigação (0) da área experimental em Castanhal-PA, Brasil.

Tratamento	Profundidade	Argila	Areia	Silte	Ds ¹	θ CC ²	θ PMP ³
	cm		%		g cm ⁻³	m ³ m ⁻³	
M 0	0-20	7,90	84,41	7,68	1,55	0,20	0,04
	20-40	13,77	74,55	11,68	1,62	0,32	0,08
	40-60	15,18	74,95	9,88	1,59	0,41	0,21
M 100	0-20	8,77	83,29	7,94	1,55	0,20	0,04
	20-40	14,04	74,33	11,63	1,62	0,32	0,08
	40-60	17,63	72,33	10,04	1,59	0,41	0,21
C 0	0-20	8,94	81,65	9,40	1,42	0,21	0,06
	20-40	14,24	74,52	11,24	1,89	0,57	0,23
	40-60	15,50	73,21	11,29	1,75	0,43	0,21
C100	0-20	10,42	83,58	6,00	1,42	0,21	0,06
	20-40	15,88	72,93	11,20	1,89	0,57	0,23
	40-60	15,07	71,33	13,60	1,75	0,43	0,21

¹Densidade do solo; ²Teor de umidade na capacidade de campo, ³Teor de umidade no ponto de murcha permanente.

Fonte: O Autor.

2.2.5. Densidade de raízes

A densidade de raízes foi determinada pelo método do anel volumétrico, onde foram coletadas amostras indeformadas em cinco profundidades nos tratamentos do monocultivo, consórcio, com irrigação e sem irrigação. Em cada tratamento, foram coletados quatro pontos aleatórios próximo as touceiras de açaizeiro. As raízes foram separadas do solo por tamisação e secas em estufa por 24h em temperatura de 100 °C para obtenção do peso seco das raízes. A

densidade de raízes foi calculada com base no peso seco obtido e o volume do anel volumétrico, os dados obtidos estão descritos na tabela 2.

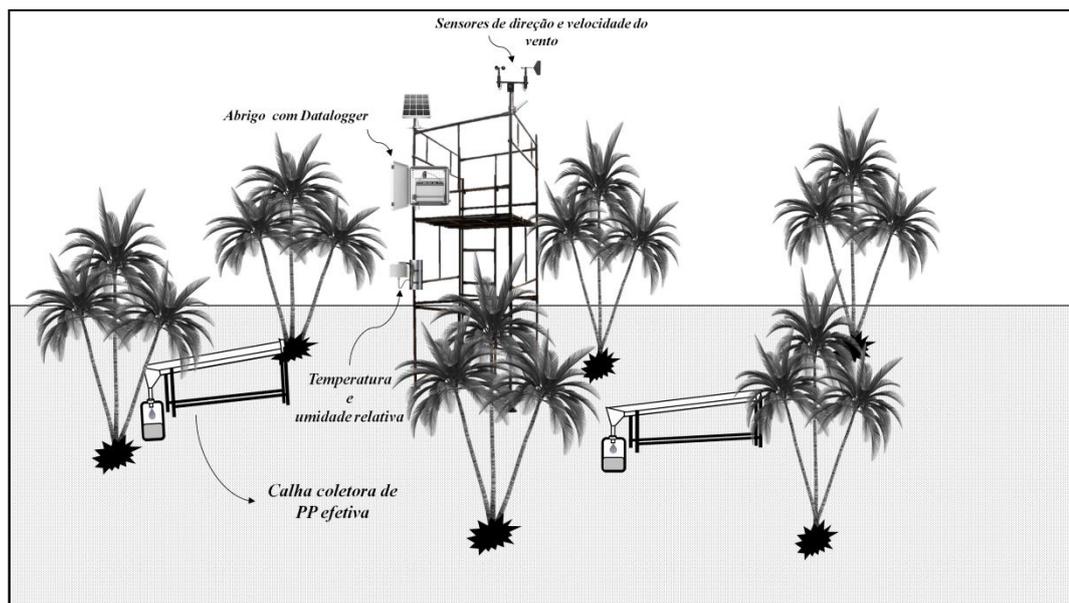
Tabela 2 – Densidade média e desvio padrão de raízes nas profundidades de 0,1 a 0,5 m nos sistemas de monocultivo (M) e consórcio (C) de açaizeiro, com irrigação (100) e sem irrigação (0) em Castanhal-PA, Brasil.

Tratamento	Profundidade	Média	Desvio Padrão
C0	10	70,48	13,85
	20	44,94	16,64
	30	39,38	32,50
	40	6,40	7,13
	50	9,56	10,97
C100	10	73,26	24,39
	20	43,46	10,86
	30	46,87	62,12
	40	21,87	14,60
	50	19,08	11,61
M0	10	47,56	17,10
	20	40,20	65,14
	30	37,80	29,28
	40	15,45	12,52
	50	8,83	3,92
M100	10	57,69	8,03
	20	51,41	26,23
	30	19,03	10,58
	40	23,77	29,94
	50	13,07	14,33

2.2.6. Precipitação efetiva

A precipitação efetiva foi determinada pela coleta da precipitação abaixo do dossel do açaizeiro utilizando calhas de policloreto de vinila (PVC). Com comprimento de aproximadamente 2 m, as calhas foram instaladas entre as linhas e entre plantas, nos dois sistemas de plantio (Figura 5). As coletas foram feitas diariamente utilizando uma proveta de 500 mL para determinação do volume de água, sendo posteriormente o volume convertido em mm, levando em consideração a área de captação e o volume coletado.

Figura 5 – Croqui de disposição espacial das calhas de coleta de precipitação efetiva abaixo do dossel de açaizeiro, entre linhas e entre plantas na área experimental.



Fonte: Deborah Pires Costa

2.2.7. Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência (ET₀) foi calculada com base nos dados adquiridos da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) do município de Castanhal, distante 2,6 km da área experimental. Para o cálculo da ET₀ foi utilizado a equação de Penman-Montheith parametrizada pela FAO 56, descrita na equação 3.

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad Eq. (3)$$

Em que, ET₀ é a evapotranspiração de referência, em mm d⁻¹; R_n corresponde ao saldo de radiação à superfície da cultura, em MJ m⁻² d⁻¹; G corresponde a densidade do fluxo de calor do solo, em MJ m⁻² d⁻¹; T é a temperatura do ar a 2 m de altura, em °C; u₂ é a velocidade do vento a 2 m de altura, em m s⁻¹; e_s corresponde a pressão de vapor de saturação, enquanto o e_a representa a pressão parcial de vapor, ambas em kPa; Δ representa a declividade da curva de pressão de vapor de saturação, em kPa °C⁻¹; e γ é o coeficiente psicrométrico, kPa °C⁻¹.

2.2.8. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi realizado em blocos casualizados, disposto no fatorial de 2 x 2 x 5 com 3 repetições. Compreendendo dois sistemas de cultivo (monocultivo e consórcio), duas lâminas de irrigação (0% da ET₀ e 100% da ET₀) e cinco profundidades (0,1, 0,2, 0,3, 0,4 e 0,5 m).

2.2.9. Análise estatística

Os dados foram analisados utilizando o software Microsoft Office Excel (Microsoft Corporation Inc., Redmond, USA). Os dados de teor de umidade do solo foram submetidos a análise estatística descritiva, avaliando os valores médios, desvios-padrão, intervalo de confiança e coeficiente de variação nas profundidades de 0,1 a 0,5 m nos dois sistemas de cultivos e considerando as diferentes lâminas. As propriedades físicas, densidade de raízes foram submetidas a análise multivariada de componentes principais (ACP) com os teores de umidade do solo em cada profundidade, além disso foi utilizado a ACP relacionando os teores de umidade do solo em cada mês com os elementos climáticos para identificar associações entre esses fatores.

2.3. Resultados

Entre os meses de avaliação, abril e maio foram os meses com as maiores lâminas de precipitação efetiva (PP_{ef}), com 241 mm e 234 mm no consórcio e 170 mm e 165 mm no monocultivo, respectivamente, sendo maior no consórcio em virtude de haver uma entrada maior de pluviosidade na área por diminuição da interceptação pela diferença que há na altura do dossel das duas culturas implantadas (Figura 6a).

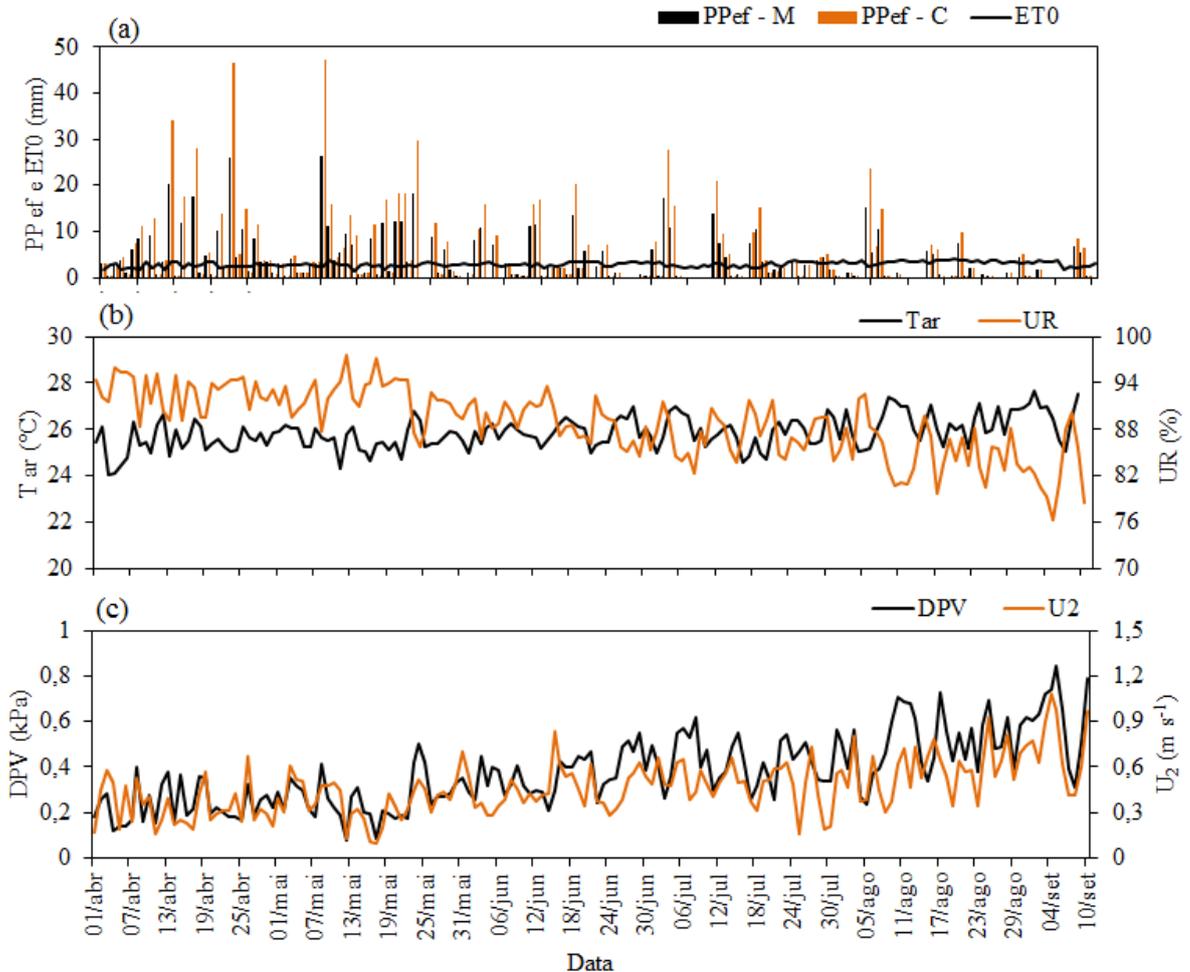
Ainda que os maiores volumes de PP_{ef} sejam registrados nos meses de abril e maio, no período de junho a setembro ainda ocorrem eventos de precipitação, mas em menor quantidade, o que sugere a transição e chegada do período seco da região, com PP_{ef} de 61 mm no monocultivo e 79 mm no consórcio no mês de agosto. A evapotranspiração de referência (ET_0) durante o período apresentou média de 2,87 mm ($\pm 0,55$), com mínima de 1,45 mm no mês de maio e máxima de 4,03 mm em agosto. De abril a setembro foi observado um aumento da ET_0 média, passando de 2,56 mm no mês de abril para 3,4 mm no mês de agosto.

Com a diminuição da precipitação ao longo dos meses avaliados, além do aumento na ET_0 , elementos como a temperatura do ar (T_{ar}) também aumentam, em média 1,24 °C de abril para setembro dentro do dossel em relação à média do período (25,8 °C $\pm 0,69$) (Figura 6b). A umidade relativa (UR) média do período foi de 88,8% ($\pm 4,3$), e apresentou redução de 10% entre o período chuvoso para o período seco, com 92% no mês de abril e 82% em setembro.

Outras variáveis que influenciam na demanda atmosférica são o déficit de pressão de vapor (DPV) e velocidade do vento (U_2), que durante o período monitorado apresentaram aumento de mais de 100% entre abril e setembro (Figura 6c). O DPV médio do período foi de 0,38 kPa ($\pm 0,16$), estando inicialmente em 0,23 kPa passando para 0,62 kPa, respectivamente

nos meses de abril e setembro. A velocidade do vento em setembro foi a maior dentro do período avaliado com $0,73 \text{ m s}^{-1}$, sendo que em abril esse elemento chegou a $0,34 \text{ m s}^{-1}$, a média nesse período foi de $0,47 \text{ m s}^{-1} (\pm 0,18)$.

Figura 6 – Precipitação efetiva no monocultivo e consórcio e evapotranspiração de referência (a), temperatura do ar e umidade relativa (b), déficit de pressão de vapor e velocidade do vento (c) em plantio comercial de açaizeiro em Castanhal-Pa durante o período de abril a setembro.



Fonte: O Autor.

Os resultados obtidos de teor de umidade no solo apresentam variação tanto espacial (em profundidade) quanto temporal. Do período mais chuvoso até o início do período de menor índice pluviométrico observou-se uma redução média de 65% no teor de água no monocultivo, enquanto no consórcio a redução média foi em torno de 72% em todas as camadas monitoradas (Tabela 2). No entanto, as camadas que mais conseguem manter o teor de umidade no perfil são as camadas mais profundas em ambos os cultivos, em virtude do aumento do teor de argila que é observado nas duas áreas.

Nas camadas de 0,3 a 0,4 m, até onde estão dispostas as raízes do açaizeiro, o teor de umidade no consórcio é relativamente maior que o observado no monocultivo. Entre os meses avaliados, no consórcio é observado uma redução de $0,68 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} (\pm 0,02)$ para $0,54 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$

($\pm 0,05$) na profundidade de 0,3 m, enquanto que no monocultivo chega próximo da metade dos valores observados inicialmente, variando de $0,44 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($\pm 0,02$) para $0,29 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($\pm 0,06$). Na camada de 0,4 m é verificado uma variação semelhante ao analisado na camada de 0,3, sendo no consórcio de $0,69 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($\pm 0,02$) para $0,54 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($\pm 0,05$) e no monocultivo de $0,43 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($\pm 0,02$) para $0,26 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($\pm 0,04$).

Nas camadas superficiais, de 0,1 a 0,2 m, é notado grande variação nos dois sistemas, com magnitude bem semelhante. Nessas camadas, além de ser encontrado uma textura mais arenosa, há uma grande influência dos fenômenos que ocorrem na superfície como o microclima dentro do dossel da cultura. Enquanto que na profundidade de 0,5 m, a qual é mais distante da superfície, apresenta variação ao longo do período, mas ainda precisa de estudos complementares para entender como está ocorrendo o fluxo hídrico nessa região.

Tabela 3 – Análise estatística descritiva do teor de umidade em plantio de açaizeiro nas diferentes profundidades no monocultivo (M) e consórcio (C) durante os meses de abril a setembro em Castanhal, Pará.

Profundidade	Cultivo	Estatística	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
10	M	Média	0,34	0,35	0,33	0,32	0,28	0,24
		DP	0,03	0,04	0,05	0,05	0,07	0,07
		CV (%)	8,93	11,94	15,85	16,43	23,55	28,96
	C	Média	0,28	0,32	0,30	0,31	0,24	0,20
		DP	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,05
		CV (%)	25,65	23,25	24,97	21,13	28,95	25,41
20	M	Média	0,36	0,36	0,33	0,32	0,26	0,21
		DP	0,04	0,05	0,06	0,05	0,06	0,08
		CV (%)	10,05	13,19	16,50	16,08	24,54	37,91
	C	Média	0,35	0,35	0,33	0,32	0,27	0,21
		DP	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06
		CV (%)	10,98	10,85	14,54	14,90	21,06	26,96
30	M	Média	0,44	0,43	0,41	0,40	0,35	0,29
		DP	0,02	0,02	0,03	0,04	0,06	0,06
		CV (%)	4,35	5,47	8,37	8,94	15,96	21,50
	C	Média	0,68	0,67	0,66	0,65	0,60	0,54
		DP	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,05
		CV (%)	3,61	3,48	4,60	5,03	7,72	9,85
40	M	Média	0,43	0,43	0,42	0,40	0,34	0,26
		DP	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,04
		CV (%)	4,90	5,47	6,92	11,01	15,90	13,92
	C	Média	0,69	0,68	0,66	0,65	0,60	0,54
		DP	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05
		CV (%)	3,43	3,07	3,83	5,30	6,85	9,95
50	M	Média	0,51	0,50	0,50	0,48	0,43	0,36
		DP	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,02
		CV (%)	4,06	5,13	5,52	8,65	10,02	4,76

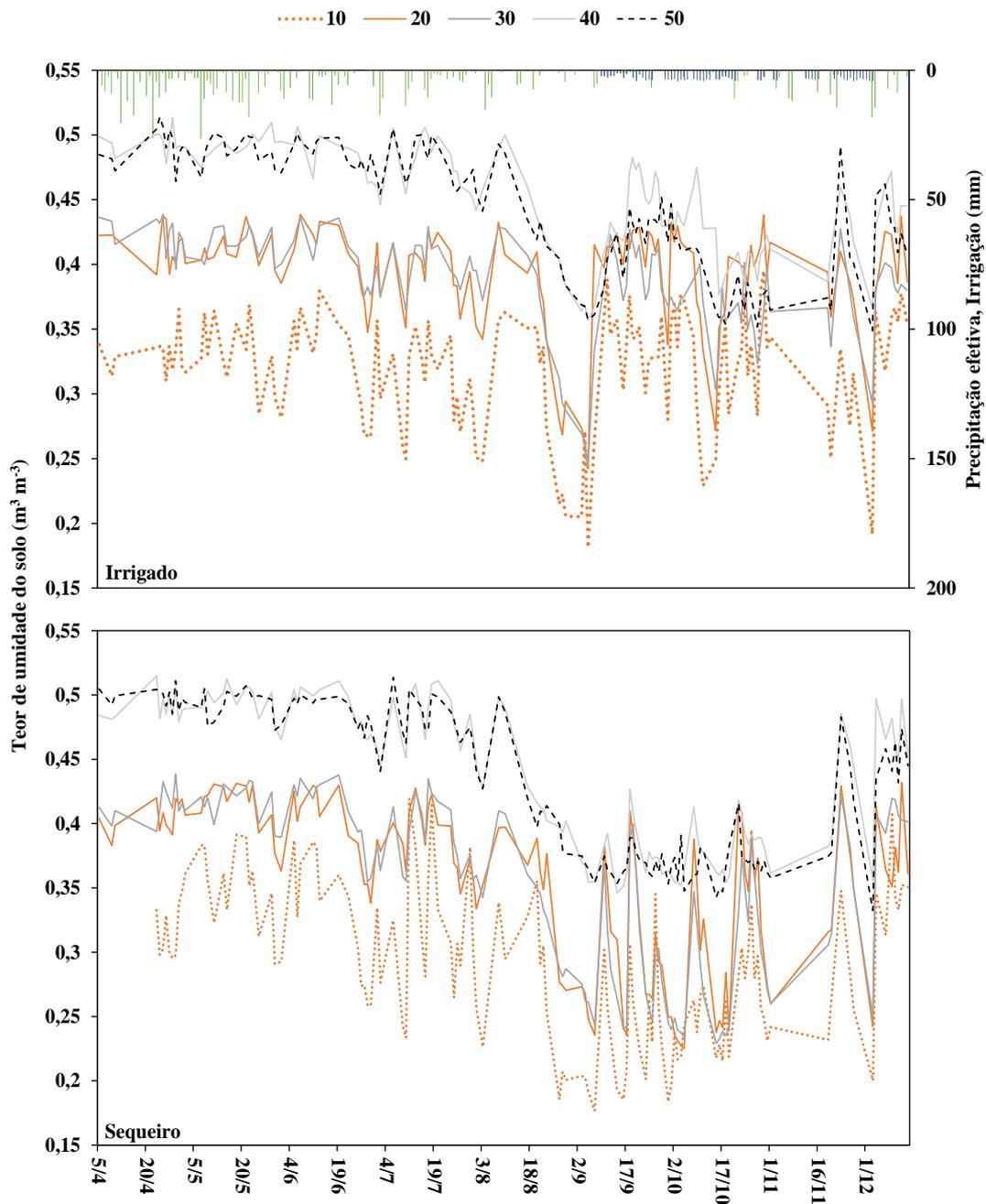
	Média	0,55	0,54	0,53	0,51	0,48	0,41
C	DP	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
	CV (%)	5,05	5,20	5,52	7,61	9,40	9,09

DP – Desvio Padrão; CV – Coeficiente de Variação; **Fonte:** O Autor.

No acompanhamento diário do teor de umidade no solo, a variação no monocultivo é observada em todas as camadas sendo que as camadas mais profundas são influenciadas pela variação que ocorre nas camadas mais superficiais, sendo mais sensível quando comparada com os dados do consórcio (Figura 7). Além das camadas mais profundas (0,3 a 0,5 m) não apresentarem a sensibilidade que é notada no monocultivo, os teores de umidade nessas camadas são muito superiores aos teores da camada superficial (0,1 e 0,2 m).

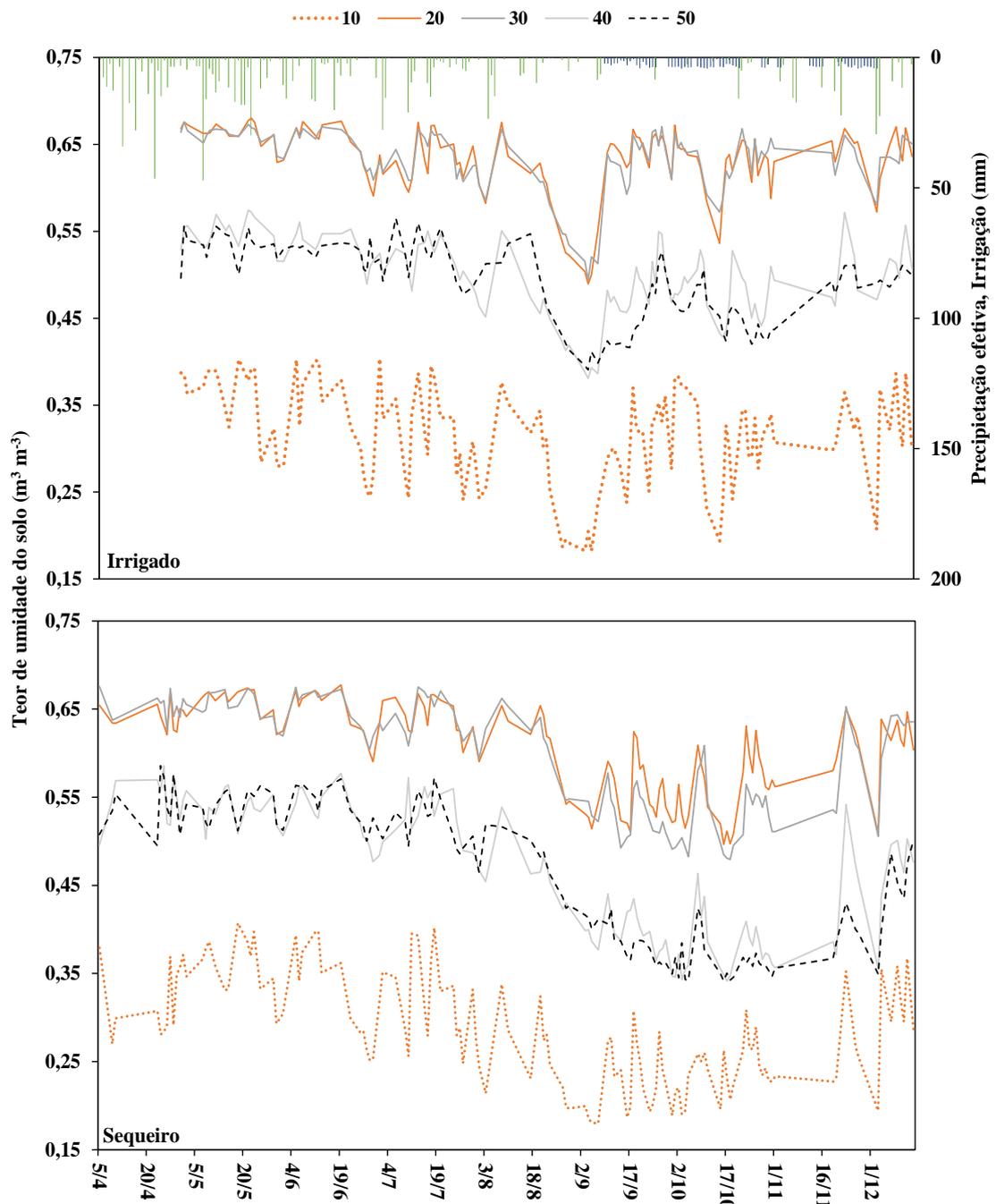
Apesar da estabilidade do teor de umidade na maioria das profundidades do consórcio, a camada de 0,1 m apresenta grande variação durante todo o período analisado, estando mais sensível aos fenômenos que ocorrem na superfície. No entanto, a partir do dia juliano 201 (final do mês de julho) é notado a diminuição do teor de umidade nos sistemas de cultivo e nas profundidades, em virtude da época de transição do período chuvoso para o período seco.

Figura 7 – Sazonalidade do teor de umidade no solo em cinco profundidades (0,1 a 0,5 m) em plantio de açaizeiro em monocultivo com lâmina de 0% da ET₀ (sequeiro) e lâmina de 100% da ET₀ (irrigado) em Castanhal-PA, Brasil. As barras verdes e azuis indicam os eventos de precipitação efetiva e irrigação, respectivamente.



Fonte: O Autor.

Figura 8 - Sazonalidade do teor de umidade no solo em cinco profundidades (0,1 a 0,5 m) em plantio de açaizeiro em consórcio com cupuaçuzeiro com lâmina de 0% da ET₀ (sequeiro) e lâmina de 100% da ET₀ (irrigado) em Castanhal – PA, Brasil. As barras verdes e azuis indicam os eventos de precipitação efetiva e irrigação, respectivamente.



Ao analisar estatisticamente, os teores de umidade no solo diferem em função do sistema de plantio adotado e das profundidades monitoradas. Nas camadas superficiais, de 0,1 a 0,2 m, o teor de umidade é igual nos dois sistemas na maioria do período analisado, com exceção no mês de abril, quando esse teor difere nas camadas de 0,2 a 0,5 m (Tabela 3). Além de apresentar diferença nas camadas de 0,3 a 0,5 m durante o período, o teor de umidade é maior no consórcio e consegue manter esse padrão mesmo com a redução da pluviosidade.

Quanto ao teor de umidade nas diferentes profundidades, é observado que são iguais nas camadas de 0,1 a 0,2 m e 0,3 a 0,4m, na maioria dos meses avaliados e nos dois sistemas de plantio, enquanto que na camada de 0,5 m é diferente de todas as outras camadas nos dois sistemas. No monocultivo, o maior teor de umidade é notado na camada de 0,5 m, ao passo que no consórcio é mantido nas camadas de 0,3 e 0,4 m.

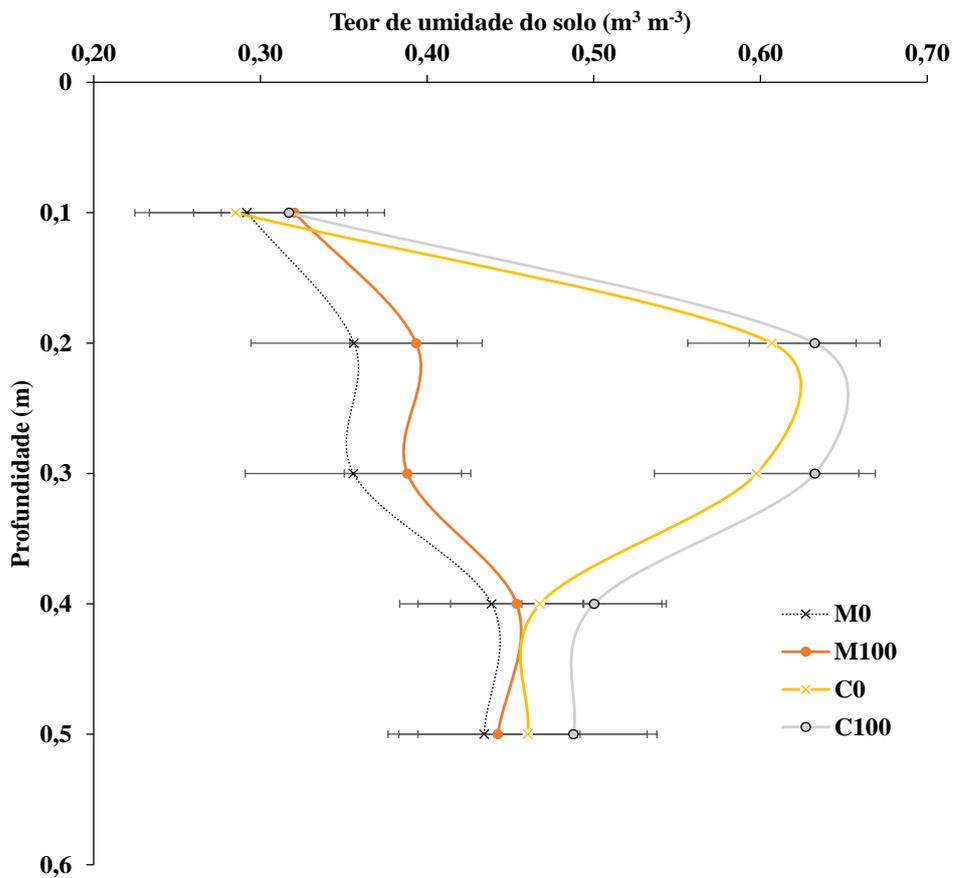
Tabela 4 – Análise estatística das médias de teor de umidade no solo em plantio de açaizeiro em diferentes sistemas de plantio e diferentes profundidades durante os meses de abril a setembro.

Mês	Sistema	Profundidade (m)				
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Abril	M	0.3321 aC	0.3418 aC	0.4370 bB	0.4331 bB	0.5120 bA
	C	0.3218 aC	0.3198 bC	0.6688 aA	0.6800 aA	0.5436 aB
Maio	M	0.3438 aD	0.3656 aC	0.4263 bB	0.4272 bB	0.5030 bA
	C	0.3422 aD	0.3557 aC	0.6729 aA	0.6757 aA	0.5373 aB
Junho	M	0.3254 aC	0.3320 aC	0.4137 bB	0.4172 bB	0.4948 bA
	C	0.3148 aC	0.3266 aC	0.6570 aA	0.6629 aA	0.5306 aB
Julho	M	0.3164 aC	0.3171 aC	0.3955 bB	0.4041 bB	0.4835 bA
	C	0.3200 aC	0.3182 aC	0.6482 aA	0.6563 aA	0.5181 aB
Agosto	M	0.2714 aC	0.2620 aC	0.3431 bB	0.3331 bB	0.4249 bA
	C	0.2618 aC	0.2658 aC	0.6033 aA	0.5999 aA	0.4772 aB
Setembro	M	0.2259 aC	0.2135 aC	0.2827 bB	0.2448 bC	0.3626 bA
	C	0.2075 aC	0.2036 aC	0.5359 aA	0.5309 aA	0.4059 aB

*As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, sendo letras minúsculas entre sistemas e letras maiúsculas entre profundidades.

Fonte: O Autor.

Figura 9 – Variação espacial no armazenamento de água no solo (Arm) nas camadas de solo de 0-0,5 m com intervalos de 0,1 m em plantio de açaizeiro em monocultivo (M) e consórcio (C) em Castanhal, Pará.



Fonte: O Autor.

Tabela 5 – Matriz de correlação de Spearman entre os meses de Abril a Dezembro (P4 a P12) nos tratamentos de monocultivo (M) e consórcio (C) de açaizeiro, com irrigação (100) e sem irrigação (0) em Castanhal-PA, Brasil.

	M0-P4	M0-P5	M0-P6	M0-P7	M0-P8	M0-P9	M0-P10	M0-P11	M0-P12
M0-P4	1,00								
M0-P5	0,41	1,00							
M0-P6	0,24	-0,09	1,00						
M0-P7	0,10	0,66	-0,43	1,00					
M0-P8	0,56	0,65	0,66	0,07	1,00				
M0-P9	0,29	-0,62	0,10	-0,52	-0,22	1,00			
M0-P10	0,27	-0,69	0,28	-0,44	-0,20	0,93*	1,00		
M0-P11	0,45	0,31	0,49	0,44	0,46	-0,25	0,06	1,00	
M0-P12	-0,11	0,12	0,43	0,44	0,30	-0,17	0,10	0,63	1,00
	M100-P4	M100-P5	M100-P6	M100-P7	M100-P8	M100-P9	M100-P10	M100-P11	M100-P12
M100-P4	1,00								
M100-P5	0,88*	1,00							
M100-P6	0,11	-0,10	1,00						
M100-P7	-0,36	-0,19	0,02	1,00					
M100-P8	-0,26	-0,20	0,80	0,13	1,00				
M100-P9	0,71	0,59	0,04	-0,82*	-0,15	1,00			
M100-P10	0,41	0,49	-0,44	-0,16	-0,48	0,05	1,00		
M100-P11	0,40	0,52	0,25	0,62	0,17	-0,30	0,33	1,00	
M100-P12	-0,25	-0,26	0,53	0,27	0,57	-0,03	-0,95*	-0,07	1,00
	C0-P4	C0-P5	C0-P6	C0-P7	C0-P8	C0-P9	C0-P10	C0-P11	C0-P12
C0-P4	1,00	0,20							
C0-P5	0,20	1,00							
C0-P6	0,58	-0,13	1,00						
C0-P7	-0,13	-0,67	0,65	1,00					
C0-P8	0,09	-0,43	0,73	0,77	1,00				
C0-P9	0,38	0,35	-0,04	-0,52	-0,12	1,00			
C0-P10	0,41	0,21	0,25	-0,20	0,08	0,92*	1,00		
C0-P11	0,20	-0,76	0,52	0,75	0,34	-0,40	-0,12	1,00	0,59
C0-P12	-0,23	-0,44	0,63	0,92*	0,68	-0,35	0,01	0,59	1,00
	C100-P4	C100-P5	C100-P6	C100-P7	C100-P8	C100-P9	C100-P10	C100-P11	C100-P12
C100-P4	1,00								
C100-P5	0,48	1,00							
C100-P6	-0,50	-0,60	1,00						
C100-P7	-0,30	-0,81	0,06	1,00					
C100-P8	-0,07	-0,72	0,76	0,30	1,00				
C100-P9	-0,07	0,58	0,06	-0,65	-0,22	1,00			
C100-P10	0,22	0,85*	-0,21	-0,82*	-0,47	0,91*	1,00		
C100-P11	-0,20	-0,51	0,23	0,66	0,21	-0,10	-0,27	1,00	

C100-P12	-0,85	-0,72	0,67	0,51	0,44	0,08	-0,31	0,56	1,00
----------	-------	-------	------	------	------	------	-------	------	------

*valores significativos

Fonte: O Autor.

2.4. Discussão

Os teores de umidade nas camadas superficiais são influenciados diretamente pelos fatores da superfície, como o microclima abaixo do dossel que facilmente consegue retirar a umidade do solo. Em solos com textura mais arenosa, a água fica mais suscetível de ser retirada por evaporação ou ser infiltrada, fazendo com que o teor de umidade nessas camadas sofra muita variação ao longo do dia e do ano, independentemente do tipo de sistema de cultivo do açazeiro.

Em cultivo de palma de óleo, Hardwick et al. (2015) notaram que a temperatura média máxima diária pode sofrer um aumento de 6,5 °C, enquanto que em locais de exploração florestal a temperatura aumenta até 2,5 °C, evidenciando que o dossel influencia no microclima de dentro do dossel. Como o arranjo da cultura em consórcio é mais semelhante ao que acontece numa floresta quando comparada com a condição da cultura em monocultivo, apesar de apresentar variações semelhantes ao que acontece no monocultivo em algumas camadas, essa variação do teor de água no solo ocorre lentamente em função do efeito tampão que o dossel proporciona (EWERS; BANKS-LEITE, 2013).

Nas camadas mais profundas, é observado o aumento do teor de umidade no solo principalmente nas profundidades de 0,3 a 0,4 m onde está localizada a raiz efetiva do açazeiro. No consórcio é notado os maiores valores, pois nesse sistema há um aumento na densidade do solo nessas camadas além de haver um incremento do teor de argila com o aumento da profundidade.

Além de influenciar nos teores de umidade, consequentemente influencia no armazenamento de água no solo que são maiores no consórcio, podendo ser atribuído a diferença de altura do dossel das plantas implantadas no consórcio que diminui a faixa de interceptação, obtendo uma chuva efetiva bem maior nessas áreas, conforme foi observado por Yang et al. (2018) ao analisar diferentes coberturas de solo, verificando que o armazenamento do solo diminui com o aumento da densidade da cobertura vegetal.

Em sistemas consorciados, o sistema radicular é outro fator que influencia no teor de umidade no solo, pois as plantas apresentam mecanismos que depositam a água próxima das

raízes ou acima da camada das raízes, e com o passar do tempo, essas áreas aumentam o teor de umidade no solo (ROMERO-SALTOS et al., 2005). As plantas inseridas na área como o açaizeiro, que apresenta raiz efetiva até a profundidade de 0,4 m (GÓES; AUGUSTO; MARTINS, 2004), e o cupuaçuzeiro, que entre as camadas de 0,2 a 0,3 m desenvolvem uma grande quantidade de raízes laterais ou secundárias (IICA, 2017), corroboram a ideia do aumento do teor de umidade nessas camadas.

Com a diminuição da pluviosidade de abril a setembro, a variação no armazenamento torna-se mais negativa, demandando mais da água armazenada no solo para suprir as perdas por evapotranspiração. No entanto, em alguns dias, as chuvas de 4 mm diário não são suficientes para recuperação do teor de umidade no solo, sendo verificada um aumento do teor de umidade na profundidade de 0,5 m e, nos dias consecutivos, é notado esse aumento nas outras camadas, podendo-se inferir a entrada de água por ascensão capilar, o que ainda será confirmado com análises complementares.

Esse movimento é observado tanto em culturas anuais (LIU et al., 2014; LIU et al., 2017) quanto em regiões de florestas tropicais, como foi observado por Romero-Saltos et al. (2005) na floresta nacional de Tapajós, que no período seco o fluxo de água em direção as camadas superficiais são maiores em decorrência da diferença de potencial entre as camadas. Dessa forma, garante que as plantas nesse período realizem seus processos e complete as fases da planta, pois segundo Chaturvedi & Raghubanshi (2018) a quantidade de água disponível influencia na fenologia das plantas.

2.5. Conclusões

1. O teor de umidade no solo é influenciado pelo sistema de plantio que o açaizeiro está arranjado, sendo que no monocultivo a variação é muito maior que no consórcio. O consórcio apresenta os maiores teores de umidade no solo, apenas nas camadas de 0,1 a 0,2 m são iguais ao monocultivo.
2. Além de apresentar variação espacial, o teor de umidade reduz temporalmente entre os meses de maior pluviosidade para os meses de menor pluviosidade.
3. O armazenamento de água no solo é maior no cultivo em consórcio, difere em 25% no período chuvoso e mais de 50% no período de menor precipitação em relação ao monocultivo. Nesse cenário, a variação do armazenamento de água é mais negativa no mês de agosto, alcançando valores negativos de 40 mm no monocultivo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. S. ; GAMA, J. R. V. Quintais agroflorestais: estrutura, composição florística e aspectos socioambientais em área de assentamento rural na Amazônia brasileira. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 4, p. 1041–1053, 2014.
- ALMEIDA, U. O.; NETO, R. C. A.; LUNZ, A. M. P.; COSTA, D. A.; ARAUJO, J. M.; RODRIGUES, M. J. S. Crescimento de açazeiro (*Euterpe precatoria* Mart.) consorciado com bananeira. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 5, n. 3, p. 154–166, 2018.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.
- ALVES, R. M. **Implantação de um pomar de cupuaçuzeiro com a cultivar BRS Carimbó**. 1ª ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2012.
- ANDRADE, C. L. T.; BORGES JÚNIOR, J. C. F; COUTO, L. Características físico-hídricas e dinâmica de água no solo. *In*: ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo de irrigação**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. p.71-143.
- ARYA, P. S. **Introduction to micrometeorology**. Elsevier, 2001. 447 p.
- AZEVEDO, J.; FREIRE, A. G.; ALENCAR, T. L.; SANTOS, C. L. A.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; BEZERRA, F. M. L.; MOTA, J. C. A. Desempenho de sistemas de leitura de tensiômetro em condições de temperatura controlada. **Irriga**, v. 22, n. 4, p. 735–756, 2017.
- BRONDÍZIO, E. S.; SAFAR, C. A. M.; SIQUEIRA, A. D. The urban market of Açaí fruit (*Euterpe oleracea* Mart.) and rural land use change: Ethnographic insights into the role of price and land tenure constraining agricultural choices in the Amazon estuary. **Urban Ecosystems**, v. 6, p. 67–97, 2002.
- BUSKE, T. C.; ROBAINA, A. D.; XAVIER, M.; BRAGA, F. D. V. A. Determinação da umidade do solo por diferentes fontes de aquecimento. **Irriga**, v. 19, n. 2, p. 315-324, 2014.
- CARVALHO, A. V.; SILVEIRA, T. F. F.; MATTIETTO, R. D. A.; OLIVEIRA, M. D. S. P.; GODOY, H. T. Chemical composition and antioxidant capacity of açai (*Euterpe oleracea*) genotypes and commercial pulps. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 5, p. 1467-1474, 2017.
- CARVALHO, J. E. U. DE; NASCIMENTO, W. M. O. DO. Technological innovations in the propagation of Açaí palm and Bacuri. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 1, 2018.
- CHATURVEDI, R. K.; RAGHUBANSHI, A. S. Soil Water Availability Influences Major

- Ecosystem Processes in Tropical Dry Forest. **International Journal of Hydrology**, v. 2, n. 1, 2018.
- COELHO, E. F.; SILVA, A. J. P. DA; MIRANDA, J. H. DE. Definição do posicionamento de sensores para monitoramento da água no solo em bananeira irrigada por diferentes sistemas de irrigação localizada. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 4, p. 608–618, 2010.
- DONAGEMA, G. K. et al. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2ª edição ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.
- EWERS, R. M.; BANKS-LEITE, C. Fragmentation Impairs the Microclimate Buffering Effect of Tropical Forests. **Plos one**, v. 8, n. 3, 2013.
- FARIAS NETO, J. T. BRS Pai d'Égua: Cultivar de açaí para terra firme com suplementação hídrica. Embrapa Amazônia Oriental: **Comunicado técnico**, v. 317, 2019.
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J.; AULER, P. A. M. Influência das frações de areia na retenção e disponibilidade de água em solos das formações Caiuá e Paranaíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 613-621, 2013.
- FOKEN, T. Specifics of the Near-Surface Turbulance. In: **Micrometeorology**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2017. p. 109-120.
- GÓES, A. V. DE M.; AUGUSTO, S. G.; MARTINS, P. F. DA S. Caracterização do sistema radicular efetivo do cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.), da pupunheira (*Bactris gasipaes* H. B. K.) e do açaizeiro (*Euterpe oleraceae* Mart.) em Latossolo Amarelo álico na Amazônia. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, p. 57–65, 2004.
- HARDWICK, S. R.; TOUMI, R.; PFEIFER, M.; TURNER, E. C.; NILUS, R.; EWERS, R. M. The relationship between leaf area index and microclimate in tropical forest and oil palm plantation: Forest disturbance drives changes in microclimate. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 201, p. 187–195, 2015.
- HOMMA, A. K. O.; NICOLI, C. M. L.; MENEZES, A. J. E. A.; MATOS, G. B.; CARVALHO, J. E. U.; NOGUEIRA, O. L. **Custo Operacional de Açaizeiro Irrigado no Nordeste Paraense**. 1ª ed. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Produção de açaí extrativista e cultivado. 2019. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/> >. Acessado em: 1 out 2019.
- INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA – IICA. Cupuaçu *Theobroma grandiflorum*. 2017. 23p.
- JARDIM, M. A. G.; SANTOS, G. D.; MEDEIROS, T. D. S.; FRANCEZ, D. D. C. Diversidade

e estrutura de palmeiras em floresta de várzea do estuário amazônico. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, v. 2, n. 4, p. 67-84, 2007.

LEPSCH, I. F. Formação e conservação dos solos. Oficina de textos, 2016.

LIU, Y.; WANG, J.; LIU, D.; LI, Z.; ZHANG, G.; TAO, Y.; XIE, J.; PAN, J.; CHEN, F. Straw Mulching Reduces the Harmful Effects of Extreme Hydrological and Temperature Conditions in Citrus Orchards. **Plos one**, v. 9, n. 1, p. 1–9, 2014.

LIU, Z.; QIN, A.; ZHANG, J.; SUN, J.; NING, D.; ZHAO, B.; XIAO, J.; LIU, Z.; DUAN, A. Maize Yield as a Function of Water Availability across Precipitation Years in the North China Plain. **Crop Science**, v. 57, n. 4, p. 2226, 2017.

MARTINS, I. C. V. S.; BORGES, N. A.; STENVINKEL, P.; LINDHOLM, B.; ROGEZ, H.; PINHEIRO, M. C. N.; NASCIMENTO, J. L. M.; MAFRA, D. The value of the Brazilian açai fruit as a therapeutic nutritional strategy for chronic kidney disease patients. **International Urology and Nephrology**, v. 50, n. 12, p. 2207–2220, 2018.

MARQUELLI, W. A.; OLIVEIRA, A. S.; COELHO, E. F.; NOGUEIRA, L. C.; SOUSA, V. F. Manejo da água de irrigação. In: SOUSA, V. F. de; MARQUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. p. 158-232.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water resources research**, v. 12, n. 3, p. 513-522, 1976.

NOGUEIRA, A. K. M.; SANTANA, A. C.; GARCIA, W. S. A dinâmica do mercado de açai fruto no Estado do Pará: de 1994 a 2009. **Revista Ceres**, v. 60, n. 3, p. 324–331, 2013.

OLIVEIRA, M. S. P.; CARVALHO, J. E. U.; NASCIMENTO, W. M. O.; MÜLLER, C. H. Cultivo do Açazeiro para Produção de Frutos. Embrapa Amazônia Oriental: **Circular Técnica**, v. 26, 2002.

OLIVEIRA, M.S.P.; FARIAS NETO, J. T. Cultivar BRS-Pará: Açazeiro para produção de frutos em terra firme. Embrapa Amazônia Oriental: **Comunicado técnico**, v. 114, 2004.

PEREIRA, P. C.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S.; SILVA, M. J. Water balance in soil cultivated with forage cactus clones under irrigation. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 3, p. 776–785, 2017.

ROMERO-SALTOS, H.; STERNBERG, L. S. L.; MOREIRA, M. Z.; NEPSTAD, D. C. Rainfall exclusion in an eastern Amazonian forest alters soil water movement and depth of water uptake. **American Journal of Botany**, v. 92, n. 3, p. 443–455, 2005.

- SANTANA, D. P.; SANS, L. M. A. Classes de solo e irrigação. *In*: ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo de irrigação**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. p. 15-68.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A. DE; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. DE; ARAUJO FILHO, J. C. DE; OLIVEIRA, J. B. DE; CUNHA, T. J. F. **Sistema de classificação de solos**. 5. ed. rev ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018.
- SANTOS, B. L. G.; GAMA, J. R. V.; RIBEIRO, R. B. S.; ANJOS, K. F.; GOMES, K. M.; XIMENES, L. C.; MELO, L. O. Estrutura e valoração de *Euterpe oleracea* em uma floresta de várzea na Amazônia. **Advances in Forestry Science**, v. 5, n. 3, p. 391–396, 2018.
- SCHERER, T. F.; FRANZEN, D.; CIHACEK, L. Soil Water, and Plant Characteristics important to irrigation. **NDSU Extension Service**, v. 1675, p. 1–16, 2017.
- SILVA, G. C.; NETO, S. E. A.; SILVA, A. N.; ALMEIDA, W. A. Artrópodes como indicadores da conservação do solo sob diferentes usos agrícolas no sudoeste Amazônico. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 4, n. 2, 2017.
- SILVESTRE, W. V. D.; SILVA, P. A.; PALHETA, L. F.; OLIVEIRA NETO, C. F.; SOUZA, R. O. R. M.; FESTUCCI-BUSELLI, R. A.; PINHEIRO, H. A. Differential tolerance to water deficit in two açai (*Euterpe oleracea* Mart.) plant materials. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 39, n. 1, p. 4, 2017.
- SOUZA, C. F.; PIRES, R. C. M.; MIRANDA, D. D.; VARALLO, A. C. T. Calibração de sondas fdr e tdr para a estimativa da umidade em dois tipos de solo. **Irriga**, v. 18, n. 4, p. 597-606, 2013.
- VALLEJO, M. I.; GALEANO, G.; BERNAL, R.; ZUIDEMA, P. A.. The fate of populations of *Euterpe oleracea* harvested for palm heart in Colombia. **Forest Ecology and Management**, v. 318, p. 274–284, 2014.
- VAN DER PLOEG, M. J.; GOOREN, H.; BAKKER, G.; DE ROOIJ, G. H. Matric potential measurements by polymer tensiometers in cropped lysimeters under water-stressed conditions. **Vadose Zone Journal**, v. 7, n. 3, p. 1048-1054, 2008.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil science society of America journal**, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.
- VASCONCELOS, M. S.; MOTA, E. F.; GOMES-ROCHETTE, N. F.; NUNES-PINHEIRO, D. C. S.; NABAVI, S. M.; MELO, D. F. Açai or Brazilian Berry (*Euterpe oleracea*). *In*: **Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements**. Elsevier, 2019. p. 131–133.
- VAZ, Ú. L.; NABOUT, J. C. Using ecological niche models to predict the impact of global

climate change on the geographical distribution and productivity of *Euterpe oleracea* Mart. (Arecaceae) in the Amazon. **Acta Botanica Brasilica**, v. 30, n. 2, p. 290–295, 2016.

YAMAGUCHI, K. K. DE L.; PEREIRA, L. F. R.; LAMARÃO, C. V.; LIMA, E. S.; VEIGA-JUNIOR, V. F. Amazon acai: Chemistry and biological activities: A review. **Food Chemistry**, v. 179, p. 137–151, 2015.

YANG, T.; ALA, M.; ZHANG, Y.; WU, J.; WANG, A.; GUAN, D. Characteristics of soil moisture under different vegetation coverage in Horqin Sandy Land, northern China. **Plos one**, v. 13, n. 6, p. e0198805, 2018.

YAO, Y.; WANG, X.; ZENG, Z.; LIU, Y.; PENG, S.; ZHU, Z.; PIAO, S. The Effect of Afforestation on Soil Moisture Content in Northeastern China. **Plos one**, v. 11, n. 8, p. e0160776, 2016.

YOKOMIZO, G. K.-I.; MOCHIUTTI, S.; QUEIROZ, J. A. L. SANTOS, G. R. DOS; FURTADO, R. G.; BRANDÃO, A. P. COLARES, I. B.. Estimativas de parâmetros genéticos para caracteres de frutos em açaizeiros no Amapá. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 3, p. 985, 2016.

ZENG, C.; SHAO, M.; WANG, Q.; ZHANG, J. Effects of land use on temporal-spatial variability of soil water and soil-water conservation. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science**, v. 61, n. 1, p. 1–13, 2011.