



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

ALINE NORONHA COSTA

**ESTUDO DOS ATRIBUTOS DO SOLO E QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO SOB
AÇAIZAIS NATIVOS NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

**BELÉM – PA
2020**

ALINE NORONHA COSTA

**ESTUDO DOS ATRIBUTOS DO SOLO E QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO SOB
AÇAIZAIS NATIVOS NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal Rural da Amazônia como requisito para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Herdjania Veras de Lima

**BELÉM – PA
2020**

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

C837e Costa, Aline Noronha
ESTUDO DOS ATRIBUTOS DO SOLO E QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO SOB
AÇAIZAIS NATIVOS NA AMAZÔNIA ORIENTAL / Aline Noronha Costa. - 2020.
67 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Agronomia (PPGA), Campus
Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2020.
Orientador: Profa. Dra. Herdjania Veras de Lima

1. Euterpe Oleracea Mart. 2. solos hidromórficos. 3. manejo sustentável do solo. I. Veras de
Lima, Herdjania, *orient.* II. Título

CDD 631.43

ALINE NORONHA COSTA

**ESTUDO DOS ATRIBUTOS DO SOLO E QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO SOB
AÇAIZAIS NATIVOS NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal Rural da Amazônia, como requisito para a obtenção do título de Mestre.

Aprovado em 27/10/2020

BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. HERDJANIA VERAS DE LIMA
(Presidente - Orientadora – UFRA)



Prof. Dr. ANTÔNIO CLEMENTINO DOS SANTOS
(Membro da banca examinadora – UFT)



Profa. Dra. ANTONIA BENEDITA DA SILVA BRONZE
(Membro da banca examinadora – UFRA)



Profa. Dra. VÂNIA SILVA DE MELO
(Membro da banca examinadora – UFRA)

AGRADECIMENTOS

Hoje, ao encerrar esse ciclo que me proporcionou muito aprendizado, agradeço: À Deus por ter me dado saúde e força para superar os obstáculos e os momentos de fraqueza. Toda honra e Glória a Vós, Senhor, pois essa vitória não seria real se não Estivesse comigo em todos os momentos da minha caminhada.

Aos meus pais (José Ronaldo e Aurineide Noronha) e a minha irmã (Maria Eliza), pelo amor, incentivo e apoio incondicional, especialmente, durante esse ciclo no qual não mediram esforços para concretização desse sonho e nunca deixaram de acreditar em mim, que seria capaz de realizar meu sonho, pois sonhavam junto comigo e agora está se tornando possível.

Em memória aos meus avós paternos, Orlando e Elisa, pelo exemplo de vida que buscarei seguir durante toda minha vida. Tudo que sou e onde conseguir chegar é devido a todo ensinamento que eles proporcionaram durante as suas jornadas aqui na terra e sei que onde eles estão continuam a trilhar esse caminho junto comigo. A toda minha família (tios, primos e primas) que sempre incentivaram a persistir no meu sonho e a nunca desistir, sempre me dando apoio, principalmente, nos piores momentos. Ao meu noivo (Rafael) por todo o incentivo, apoio, amor e por me fortalecer nos momentos difíceis e acreditar em mim.

À professora e orientadora Herdjanía Veras de Lima pela orientação, por todo o apoio concedido, paciência e contribuições o qual foram essenciais para o desenvolvimento e realização deste trabalho.

Ao projeto da rede FRUTNAT (Apoio a Redes de Pesquisa em Biodiversidade na Amazônia Legal - CNPq), no projeto coordenado pelo professor Clementino dos Santos da UFT por ter proporcionando um ano de bolsa para a realização desta pesquisa.

Aos companheiros do grupo de Física do solo: Daynara Vieira, Peola Reis, Adriano Moura, Decíola Fernandes, Ana Caroline Damasceno, Lorena Torres, Danielle Soares, Luciana Oliveira e Michel Sato pelo apoio e por fazerem parte da realização desse sonho e que levarei a amizade pelo resto da minha vida.

Ao Programa de pós-graduação em Agronomia e a todos os amigos que fiz durante esses dois anos, em especial, a Débora Oliveira, Daihany Callegari, Joberta Yakuwa, Hemelyn Soares, Vivian Costa e o Deivison Rodrigues pela ajuda incondicional durante esses anos de convivência e pelo apoio, pois irei levar a amizade e o carinho de vocês pelo restante da minha vida.

Muito Obrigado!

“Não importa o que aconteça, continue a nadar.”

(GRAHAM WALTERS)

RESUMO

O açazeiro (*Euterpe Oleracea* Mart.) é nativo da Amazônia brasileira cujo habitat natural são ecossistemas de solos hidromórficos que drenam duas vezes ao dia. Objetivou-se avaliar os sistemas de várzea por meio dos atributos químicos, físicos e biológicos de solos hidromórficos em áreas de açazais nativos, além das características químicas da qualidade da água do rio Tocantins visando contribuir para a manutenção, preservação e manejo adequado desses ecossistemas. O estudo foi desenvolvido em três áreas de açazal nativo na Ilha Saracá pertencente ao Município de Limoeiro do Ajurú, na região do Baixo Tocantins. Foram coletadas 10 amostras de solo com estruturas deformadas no período mais chuvoso em cada área e mais 10 amostras no menos chuvoso também em cada área e 20 amostras indeformadas por área na profundidade de 0-10 cm. As amostras indeformadas foram utilizadas para a determinação das características físicas do solo e as amostras deformadas foram utilizadas para as análises de textura, atributos químicos e biológicos do solo e micronutrientes e a qualidade química da água do rio foi analisada também em dois períodos pluviométricos. Em relação aos atributos físico-hídricos do solo hidromórfico, as três áreas de várzea apresentaram textura franco siltosa, umidade do solo acima de $0,1 \text{ g.g}^{-1}$ em potenciais críticos e índice de agregação do solo superior a 85% com mais de 60% de agregados pertencentes a classe de tamanho $>2\text{mm}$, já em consideração aos atributos químicos do solo e da água nos dois períodos pluviométricos os teores de ferro no solo foram maiores no período menos chuvoso enquanto que o manganês reduziu no mesmo período. O cálcio apresentou valores acima de $4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ nos dois períodos e o magnésio maior que $2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, já o fósforo variou de 4 a 15 mg dm^{-3} e o potássio variou de 0,09 a $0,19 \text{ mg dm}^{-3}$ em relação aos dois períodos. O alumínio foi inferior a $0,30 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ nos períodos avaliados. Os teores de metais encontrados na água do rio das três áreas estão de acordo com os valores de referência estabelecidos pelo CONAMA, somente o ferro no período mais chuvoso na várzea central obteve valor superior. No entanto em relação aos atributos biológicos o coeficiente metabólico encontrado foi inferior a $7,59 \times 10^{-3} \text{ mg kg}^{-1}$ nas três áreas, enquanto que o carbono da biomassa foi maior que 70 mg kg^{-1} e a respiração do solo superior a $100 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$. O solo dos três ecossistemas de várzeas apresentam características físicas, químicas e biológicas com condições naturais e favoráveis a produção e manutenção dos açazais nativos e qualidade da água do rio considerada própria para o consumo pelos ribeirinhos locais.

Palavras-chave: *Euterpe Oleracea* Mart, solos hidromórficos, manejo sustentável do solo.

ABSTRACT

The açazeiro (*Euterpe Oleracea* Mart.) is native to the Brazilian Amazon whose natural habitat is hydromorphic soil ecosystems that drain twice a day. The objective was to evaluate the floodplain systems by means of the chemical, physical and biological attributes of hydromorphic soils in areas of native açazais, in addition to the chemical characteristics of the water quality of the Tocantins river in order to contribute to the maintenance, preservation and proper management of these ecosystems. The study was developed in three areas of native açazal on the Saracá Island belonging to the Municipality of Limoeiro do Ajurú, in the region of Baixo Tocantins. Ten soil samples with deformed structures were collected in the rainiest period in each area and another 10 samples in the least rainy period in each area and 20 undisturbed samples per area at a depth of 0-10 cm. The deformed samples were used to determine the physical characteristics of the soil and the deformed samples were used for the analysis of texture, chemical and biological attributes of the soil and micronutrients and the chemical quality of the river water was also analyzed in two pluviometric periods. Regarding the physical-hydric attributes of the hydromorphic soil, the three floodplain areas presented a silty-white texture, soil moisture above 0.1 gg^{-1} in potential critics and soil aggregation index greater than 85% with more than 60% of aggregates belonging to the size class $> 2\text{mm}$, already taking into account the chemical attributes of the soil and water in the two pluviometric periods, the levels of iron in the soil were higher in the less rainy period whereas manganese decreased in the same period. Calcium showed values above $4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ in both periods and magnesium greater than $2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, whereas phosphorus varied from 4 to 15 mg dm^{-3} and potassium varied from 0.09 to 0.19 mg dm^{-3} in relation to the two periods. Aluminum was less than $0.30 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ in the evaluated periods. The levels of metals found in the river water of the three areas are in accordance with the reference values established by CONAMA, only the iron in the rainiest period in the central floodplain obtained a higher value. However, in relation to biological attributes, the metabolic coefficient found was less than $7.59 \times 10^{-3} \text{ mg kg}^{-1}$ in the three areas, while the biomass carbon was greater than 70 mg kg^{-1} and the soil respiration greater than $100 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$. The soil of the three floodplain ecosystems has physical, chemical and biological characteristics with natural and favorable conditions for the production and maintenance of native açai groves and the quality of the river water considered suitable for consumption by local riverside dwellers.

Key-words: *Euterpe Oleracea* Mart, hydromorphic soils, sustainable soil management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Palmeira de açáí formando touceira (A), frutos (B) e polpa (C)	20
Figura 2: Várzea na enchente (A) e várzea na vazante (B).....	21
Figura 3: Moradia de ribeirinhos nas áreas de várzea	23
Figura 4: Estrutura de adaptação do açazeiro ao alagamento.....	27
Figura 5: Comercialização da polpa de açáí no Brasil (A) e no Exterior (B).....	29
Figura 6: Mapa de Localização das áreas de coletas de solo na Ilha Saracá, município de Limoeiro do Ajurú.....	36
Figura 7: Precipitação pluviométrica no município de Limoeiro do Ajurú, média histórica de 1995 a 2019.....	36
Figura 8: O perfil da Ilha Saracá, município de Limoeiro do Ajurú.....	38
Figura 9: Distribuição de agregados estáveis em água e classes de tamanho de agregados do solo (0-10 cm) de três áreas de várzea sob açazal nativo.....	43
Figura 10: Umidade do solo (Θ) e distribuição do tamanho dos poros ($d\psi/d(\log h)$) em função do potencial matricial (hPa) em três áreas de várzeas sob açazal nativo.....	45
Figura 11: Estoque de carbono do solo sob açazeiro nativos de várzeas em dois períodos (mais chuvoso e menos chuvoso).....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização granulométrica e matéria orgânica do solo na camada de 0-10 cm em três áreas de várzea sob açaí nativo.....	41
Tabela 2: Razões de vazios equivalentes aos poros residual (e_{residual}), textural (e_{textural}), estrutural ($e_{\text{estrutural}}$), porosidade total (Pt), densidade do solo (Ds), densidade de partícula (Dp), diâmetro médio ponderado (DMP), índice de estabilidade de agregados (ASI) e percentuais de agregados estáveis > 2 mm (AGRI) de solos sob açazais nativos.....	42
Tabela 3: Valores dos parâmetros ajustados pela equação duplo exponencial de retenção de água, seguido do R^2 e diâmetro efetivo textural (δ_1) e estrutural (δ_2) obtidos dos solos sob açazeiros nativos em três áreas de várzea.....	44
Tabela 4: Caracterização química do solo das várzeas estudadas sob açazal nativo em dois períodos (n=20).....	55
Tabela 5: Macronutrientes e micronutrientes do solo em áreas de várzeas sob cultivo de açazal nativo.....	57
Tabela 6: Caracterização química da água do rio no período mais chuvoso e menos chuvoso em áreas de várzea sob açaí nativo.....	59
Tabela 7: Caracterização dos atributos biológicos do solo no período mais chuvoso em áreas de várzea sob açaí nativo.....	60
Tabela 8: Correlação de Pearson entre os atributos químicos e microbiológicos do solo no período mais chuvoso em áreas de várzea sob açaí nativo.....	61

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

C, A e H – Parâmetros de ajuste da curva de retenção de água no solo

Al⁺ - Alumínio

C – Carbono

Ca⁺ - Cálcio

CBM – Carbono da biomassa microbiana

CC - Capacidade de campo

CH₄ - metano

CO₂ - Gás Carbnico

CO – Carbono orgânico

CRA - Curva de retenção de gua

CTC ou T- Capacidade de troca catiônica

Ds – Densidade do solo

Dp – Densidade de partículas

h – Potencial matricial

HCl - cido clorídrico

H₂SO₄– cido sulfúrico

Fe – Ferro

K⁺ - Potássio

KCl – Cloreto de potássio

m – Saturaco por alumínio

Mg⁺- Magnésio

Mn - Manganês

MO - Matéria orgânica

N₂O - xido nitroso

NaOH - Hidróxido de sódio

P - Fósforo

pH - Potencial hidrogeniônico

SB – Soma de bases

t - Toneladas

Ug – Umidade gravimétrica

V – Saturaco por bases

SUMÁRIO

1.CONTEXTUALIZAÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. GERAL.....	16
2.2. ESPECÍFICOS.....	16
REFERÊNCIAS.....	16
3. REVISÃO DELITERATURA.....	18
3.1. PRODUÇÃO DE AÇAÍ NAS VÁRZEAS DOS RIOS PARAENSES.....	18
3.1.1. O AÇAIZEIRO (<i>EUTERPE OLERACEA MART.</i>).....	18
3.1.2. AS VÁRZEAS.....	20
3.1.3. OS RIBEIRINHOS.....	22
3.1.4. SOLOS HIDROMÓRFICOS.....	24
3.1.5. ADAPTAÇÕES MORFO-FISIOLÓGICAS DO AÇAIZEIRO AO ALAGAMENTO.....	26
3.2. ABORDAGEM SÓCIO-ECONÔMICA.....	28
3.3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30
4. CAPÍTULO 1 – ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS E ESTRUTURAIS DO SOLO SOB AÇAIZAIS NATIVOS NA AMAZÔNIA ORIENTAL.....	34
4.1. INTRODUÇÃO.....	34
4.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	35
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
4.4. CONCLUSÕES.....	46
4.5. REFERÊNCIAS.....	46
5. CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO DOS ATIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO E QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO SOB AÇAIZAIS NATIVOS NA AMAZÔNIA ORIENTAL.....	49
5.1. INTRODUÇÃO.....	49
5.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	50
5.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	55
5.4. CONCLUSÕES.....	61
5.5. REFERÊNCIAS.....	62

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A biodiversidade e os serviços ecossistêmicos, além de essenciais para a sobrevivência do homem, são também o meio de subsistência de milhares de pessoas em todo o mundo. Por isso, é possível compreender a importância de sua manutenção, considerando que eles fornecem alimentos, medicamentos, fibras para vestimentas, moradia, além de ar puro, água limpa e controle do clima (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2012).

Sabe-se que os ecossistemas podem ser definidos como complexo dinâmico de comunidades vegetais, animais e de microrganismos e o ambiente não vivo, interagindo com uma unidade funcional (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005). Considerando essa definição, é possível compreender que os ecossistemas em equilíbrio geram serviços benéficos para os homens, podendo estes ser classificados como serviços ambientais, aqueles providos por ecossistemas manejados pelo homem; ou serviços ecossistêmicos, aqueles providos ao homem por ecossistemas naturais, sem intervenção humana, de acordo com a existência ou não de intervenção (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2012).

As palmeiras frutíferas, com destaque para o açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) vem sendo defendidas, com algumas exceções (CLEMENT, 2006; HOMMA, 2012), como uma das formas mais sustentáveis de conservação das florestas tropicais e que assegura os modos de vida tradicionais de comunidades rurais em vários países, especialmente daqueles em desenvolvimento (ROCHA, 2004; NYGREN et al., 2006), pois a polpa do fruto do açazeiro, têm grande potencial agrônômico, tecnológico, nutricional e econômico (YUYAMA et al., 2011).

O açazeiro é de origem Amazônica e se desenvolve em diferentes ambientes como várzea, igapó e terra firme. Isso devido apresentar condições adaptativas ao meio em que se encontra. O Estado do Pará corresponde a sua principal área de dispersão sendo os ambientes de várzea e igapó onde se concentra compondo ecossistemas de floresta natural ou em forma de maciços conhecidos como açazais (NOGUEIRA, 2005).

Esta espécie apresenta um caule nomeado de estipe que possui a capacidade de perfilhamento gerando o que denominamos de touceira (SILVA & ALMEIDA, 2004). Essas touceiras são constituídas pela planta mãe e diversos perfilhos formando populações nativas que intercaladas por diversas espécies na mesma região (CARIM et al, 2014), formam ambientes propícios à produção de frutos de açai.

A polpa dos frutos do açai tem sido objeto de vários estudos devido ao seu valor nutritivo e sensorial, e por ser “novidade” e ter sabor exótico, sendo inclusive considerada alimento

nutracêutico em razão ao seu rico conteúdo de antocianinas, flavonoides, compostos fenólicos e lignoides, os quais trazem benefícios à saúde. Por efeito, o seu consumo tem crescido consideravelmente no mercado internacional (MENEZES et al., 2008).

Apesar de chamar a atenção por seu alto teor de antocianinas, o que tem levado várias empresas estrangeiras a produzirem cápsulas de açaí, a fruta é também considerada importante fonte de pigmentos naturais, que não apresentam efeitos tóxicos e podem contribuir para a diminuição do uso de pigmentos sintéticos em alimentos (TONON, BRABET & HUBINGER, 2013). A agregação de valores nutricionais e medicinais associados aos valores socioambientais trazidos pela certificação florestal ou orgânica (BENTES-GAMA, 2005) ampliou o mercado da fruta para além dos mercados de nicho.

A comercialização da polpa de açaí pode ser da forma *in natura* ou na forma de sorvetes e picolés no mercado local, e congelada em embalagens de diferentes tamanhos para outras regiões do país, particularmente, pelos Estados do Sudeste e Nordeste do país. Ou ainda, processadas industrialmente na forma de bebidas engarrafadas, bebidas isotônicas, sucos concentrados, polpas liofilizadas e na produção de óleos para fins farmacêuticos (PACHECO-PALENCIA et al., 2007; FALESI et al., 2010). Concomitantemente, também passou a ser exportada para os principais mercados consumidores internacionais do NAFTA, União Europeia, Tigres Asiáticos e MERCOSUL (SOUZA et al., 2011).

O estado do Pará destaca-se nacionalmente como maior produtor de açaí com uma produção anual de 1.274.056 toneladas de fruto e uma área cultivada superior à 188.483 hectares (IBGE, 2019), sem considerar as áreas de ocorrência natural. As regiões do Tocantins e Marajó constituem os maiores centros produtores sendo os responsáveis por 80% da produção estadual do açaí. O aumento da demanda pelo açaí proporcionou mudanças nessa atividade econômica, porque, até a década de 1980, era praticado apenas o extrativismo dos frutos e, a partir de 1990 os açazais nativos passaram a ser manejados com a finalidade de aumentar a produtividade, bem como aumentou o plantio de açazeiro em áreas de várzea e terra firme (HOMMA, 2016).

Com o crescimento do mercado da fruta, vem se observando, no Pará, a gradual mudança do sistema extrativo que apresenta baixa produtividade (4,2t/ha) para o sistema manejado (8,4 t/ha) e o irrigado, que pode atingir 15 t/ha, com possibilidade de crescer ainda mais com as inovações tecnológicas (SANTOS et al., 2012).

As áreas de terra firme de cultivos agrícolas abandonados e/ou áreas degradadas estão sendo convertidas em áreas de açaí cultivado (FARIAS NETO et al., 2011). Além disso, a intensificação da exploração do açaí extrativo nas ilhas e áreas alagáveis do estuário do rio

Amazonas próximas a Belém parece ter levado a um processo de transformação da floresta em quase monocultivo da espécie *E. oleracea* (HOMMA, 1993). Nessas áreas de florestas inundáveis, os extratores mantêm elevada densidade de indivíduos de açaí (200 estipes. ha⁻¹) com conseqüente redução de 50% da diversidade de espécies arbóreas e 63% na riqueza de espécies pioneiras (FREITAS et al., 2015).

A qualidade do solo se define como a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens (DORAN & PARKIN, 1994). Em seu estado natural, o solo encontra-se coberto pela vegetação, que o protege da erosão e contribui para manter o equilíbrio entre os fatores de sua formação e aqueles que promovem sua degradação. O rompimento dessa relação provoca alterações biológicas, e físicas nas funções do solo e em sua capacidade produtiva (SIQUEIRA et al., 1994).

As interações solo-planta-atmosfera determinam funções fundamentais nos ecossistemas terrestres. Devido à participação do carbono na constituição dos materiais orgânicos, os estudos sobre a dinâmica, caracterização e funções da matéria orgânica do solo (MOS) são feitos, principalmente, por meio do carbono orgânico total. As alterações na MOS influenciam as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, tais como a agregação (SALTON et al., 2008); armazenamento de água (RESCK et al., 2008); capacidade de troca catiônica (CTC) (REIN; DUXBURY, 2008); e disponibilidade de nutrientes (ASHAGRIE et al., 2007) e são dependentes das condições do solo, clima e práticas culturais adotadas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Além disso, os microrganismos do solo são importantes indicadores da qualidade do solo, pois respondem rapidamente a mudanças no solo pelas alterações no manejo. A atividade microbiana do solo reflete a influência conjunta de todos os fatores que regulam a degradação da matéria orgânica e a transformação dos nutrientes (TÓTOLA; CHAER, 2002).

Os atributos do solo são importantes para a manutenção dos açaizais nativos pois a umidade do solo é relevante no que concerne ao crescimento da planta de açaí (Aguiar, 2016), e a quantidade de raízes respiratórias que ficam acima da superfície do solo associadas as bactérias simbióticas *Rhizobium* spp. fazem a fixação do oxigênio e do nitrogênio necessários para o crescimento do vegetal (COSTA, 1992). Por isso, O manejo adequado dos solos, que contribua para aumentar ou conservar a sua qualidade, além de aumentar a produtividade do

sistema de produção, contribuirá para manter a boa qualidade ambiental (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

No entanto, o desmatamento nas últimas décadas provocou alteração em toda região e derrubada da floresta, trazendo como consequência a perda da biodiversidade e de conhecimentos tradicionais, desenvolvidos pelos diversos povos que manejam pequenas unidades produtivas familiares, além de degradar o potencial produtivo dos ecossistemas naturais (CASTRO, 2005; LEFF, 2009)

Sendo assim, em áreas de açazais nativos, o desmatamento é o principal problema que compromete a qualidade do solo. Pois, a eliminação de espécies nativas para aumentar a luminosidade dentro dos açazeiros causa o enfraquecimento das encostas e, em consequência, a erosão e a deposição de grandes quantidades de sedimentos no leito dos rios (GONÇALVES e BRASIL, 2016). Além de prejudicar o solo, o desmatamento contribui para a eliminação de agentes polinizadores do açaí, o que impacta diretamente na diminuição da produção dos frutos (VENTURIERI et al., 2014).

As espécies nativas desempenham funções ecológicas e estruturais, a perda dessas espécies contribui para o agravamento de um problema comum nas áreas de várzeas, o fenômeno de erosão, referido também como “terras caídas” (FALESI E SILVA, 1999). A maré, impulsionada pelas ondas dos barcos que cruzam os rios, tem acelerado o processo de erosão. Espécies de raízes profundas atuam como protetoras às margens dos rios, a retirada delas, faz com que o fenômeno “de terras caídas” se intensifique gerando assim um desequilíbrio ecológico nesse ecossistema, tendo em vista que as margens dos rios são consideradas áreas de preservação permanente – APP (CARVALHO, 2018).

Portanto, tem-se uma grande necessidade do estudo dos solos em ambientes de várzeas cultivados com açazal nativo, pois será possível o conhecimento das condições naturais desses solos, suas aptidões e limitações e fundamentará estudos futuros como a inserção de cultivo em terra firme, assim como tornar-se subsídio para o manejo adequado destes ecossistemas e contribuir com a manutenção e preservação da biodiversidade e ampliação da economia dos municípios que possuem o extrativismo como a principal fonte de renda.

Diante disso, esta dissertação foi dividida em dois capítulos sendo o primeiro relacionado com os atributos físico-hídricos e estruturais do solo sob açazais nativos e o segundo sobre os atributos químicos e microbiológicos do solo e qualidade da água do rio Tocantins também sob açazais nativos.

2. OBJETIVOS

2.1. GERAL

Avaliar os sistemas de várzea por meio dos atributos químicos, físicos e biológicos de solos hidromórficos em áreas de açazais nativos, além das características químicas da qualidade da água do rio visando contribuir para a manutenção, preservação e manejo adequado desses ecossistemas.

2.2. ESPECÍFICOS

- i. Avaliar os diferentes sistemas de várzea por meio dos atributos físico-hídricos e estruturais do solo;
- ii. Avaliar a relação entre a fertilidade do solo e os parâmetros da água do rio por meio das características químicas do solo e da água, em dois períodos do ano, mais chuvoso e menos chuvoso;
- iii. Avaliar a relação entre os atributos químicos e biológicos do solo.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. G. R. **Manejo de população de açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) em parcelas de produção de frutos em área de várzea**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2016. 95p.
- ASHARIE, Y.; ZECH, W.; GUGGENBERGER, G.; MAMO, T. Soil aggregation, and total and particulate organic matter following conversion of native forests to continuous cultivation in Ethiopia. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, n. 1, p. 101-108, 2007.
- BENTES-GAMA, M. M. et al. Açáí (*Euterpe* spp.): características, formação de mudas e plantio para a produção de frutos. **Circular Técnica**, Embrapa-RO. Porto Velho, 2005.
- CARIM, M. J. V.; ABDON, L. M.; GUIMARÃES, J. R.S. TOSTES, L. C. L. Análise estrutural de açazais nativos (*Euterpe oleracea* Mart.) em Floresta de Várzea, Amapá, Brasil. **Biota Amazônia**. Open Journal System. Macapá, v. 4, n. 4, p. 45-51, 2014.
- CARVALHO, R. DA. C. **Recuperação florestal em açazais de várzea submetidos ao manejo intensivo no estuário amazônico**. 2018. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará. Belém, 2018.
- CASTRO, A. P. **O saber local dos caboclos-ribeirinhos amazônicos e os sistemas agroflorestais tradicionais**. 2005. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2005.
- CLEMENT, C. R. A Lógica do mercado e o futuro da produção extrativista. In: VI Simpósio Brasileiro de Etnobiologia e Etnoecologia, Sessão 5: O (neo) extrativismo é viável socioambientalmente? **Sociedade Brasileira de Etnobiologia e Etnoecologia**, U. F. R. G. S., Porto Alegre, 2006.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Biodiversidade e indústria: informações para uma gestão sustentável**. Brasília – DF, p. 13–55, 2012.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, SSSA, 1994. p.1-20.

- FALESI, I.C.; SILVA, B.N.R. DA. **Ecossistemas de várzeas da região do Baixo Amazonas. Embrapa Amazônia Oriental**, Belém, PA. 75 pp. 1999.
- FALESI, L. A.; SANTANA, A. C.; SANTANA, Á. L. A dinâmica do mercado de frutas na mesorregião Nordeste Paraense, no período 1985 a 2005. **Teoria e Evidência Econômica**, v.16, p.9-22, 2010.
- FARIAS NETO, J. T.; RESENDE, M. D. V. de; OLIVEIRA, M. DO S. P. de. Seleção simultânea em progênies de açaizeiro irrigado para produção e peso do fruto. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 2, p. 532–539, jun. 2011.
- FREITAS, M. A. B. et al. Floristic impoverishment of Amazonian floodplain forest managed for açai fruit production. **Forest Ecology and Management**, n. 351, p. 20-27, 2015.
- GONÇALVES, D. DE L.; BRASIL, D. DO S. B. Problemas ambientais e sustentabilidade nas várzeas da Amazônia Tocantina: um estudo no Projeto de Assentamento Agroextrativista São João Batista II, Abaetetuba, Estado do Pará, Brasil. **Revista Pan-Amazônica de Saúde (Online)**, v. 7, p. 89-99, 2016.
- HOMMA, A. K. O. **A imigração japonesa na Amazônia: sua contribuição ao desenvolvimento agrícola**. Brasília: Embrapa, 2a ed., 255p, 2016.
- HOMMA, A. K. O. **Extrativismo vegetal na Amazônia: limites e oportunidades**. EMBRAPA, Brasília, 1993.
- HOMMA, A. K. O. **Plant extractivism or plantation: what is the best option for the Amazon?** Estudos Avançados, v. 26, n. 74, p. 167-186, 2012.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola Paraense (LSPA/IBGE)**. Belém- PA, 2019.
- LEFF, E. Complexidade, Racionalidade Ambiental e Diálogo de Saberes. Complexidade, Racionalidade Ambiental e Diálogo de Saberes, **Educação e Realidade**, Porto Alegre, v. 3, n. 34, p.17-24, dez. 2009.
- MENEZES, E.M. DA S., TORRES, A.T., SRUR, A.U.S. Valor nutricional da polpa de açai (Euterpe oleracea Mart.) liofilizada. **Revista Acta Amazônica**, v. 38, n. 2, p. 311-316. 2008.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human wellbeing: synthesis**. Washington – DC, United States of América, Island Press, 2005.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Pagamento por serviços ambientais na mata atlântica: lições aprendidas e desafios**. Brasília – DF, 2ª ed., p. 8–45, 2012.
- MOREIRA, F. M de S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. Ed. Atual. e ampl. Lavras: UFLA, 2006. 729p.
- NYGREN, A. et al. Ecological, socio-cultural, economic and political factors influencing the contribution of non-timber forest products to local livelihoods: case studies from Honduras and the Philippines. Smallscale Forest Economics, **Management and Policy**, v. 5, n. 2, p. 249-269, 2006.
- PACHECO-PALENCIA, L.A., HAWKEN, P., TALCOTT, S.T. Juice matrix composition and ascorbic acid fortification effects on the phytochemical, antioxidant and pigment stability of acai (Euterpe oleracea Mart.). **Food Chemistry**, v.105, p.28–35. 2007.
- REIN, T. A.; DUXBURY, J. M. Modeling the soil organic carbon, texture and mineralogy relations in the profile of oxisols from the Brazilian Cerrado. In: SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO E II SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SAVANAS TROPICAIS, 9., 2008, Brasília. **Anais...** Brasília: Embrapa Cerrados, CD ROM. 2008.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; FIGUEIREDO, C. C. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. (Eds). **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina: Embrapa Cerrados, p. 417-473, 2008.

ROCHA, E. Potencial ecológico para o manejo de frutos de açazeiro (*Euterpe precatória* Mart.) em áreas extrativistas no Acre, Brasil. **Acta Amazônica**. v. 34, n. 2, p. 237-250, Manaus, 2004.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 11-21, 2008.

SANTOS, J. C. dos; SENA, AL dos S.; HOMMA, A. K. O. Viabilidade econômica do manejo de açazais no estuário amazônico do Pará. In: GUIDUCCI, R.C.N.; LIMA FILHO, J.R.; MOTA, M.M. (eds.). **Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários**. Brasília: Embrapa, p.351-409, 2012.

SILVA, P. J. D.; ALMEIDA, S.S. Estrutura ecológica de açazais em ecossistemas inundáveis da Amazônia. In: **Açaí: possibilidades e limites para o desenvolvimento sustentável no estuário amazônico**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2004. p. 37 – 51. (Coleção Adolpho Ducke).

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. de S.; GRISI, B. M.; ARAÚJO, R. S. **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília, DF: EMBRAPA - SPI, 1994. 142p.

SOUZA, M. P.; SILVA, T. N.; PEDROZO, E. Á.; SOUZA FILHO, T. A. O Produto Florestal Não Madeirável (PFNM) Amazônico açaí nativo: proposição de uma organização social baseada na lógica de cadeia e rede para potencializar a exploração local. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, v.3, p.44-57, 2011.

TONON, R. V., BRABET, C. e HUBINGER, M. D. Aplicação da secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado a partir do açaí. **Inc. Soc.**, Brasília, DF, v. 6 n. 2, p. 70-76, jan./jun. 2013.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade dos solos. In: ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F. de; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (ED.). **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa: SBCS, v. 2, p. 195-276, 2002.

VENTURIERI, G. C. et al. Plano de manejo para os polinizadores do açazeiro *Euterpe oleracea* (Arecaceae). In: YAMAMOTO, M.; OLIVEIRA, P. E.; GAGLIANONE, M. C. (Eds.). **Uso sustentável e restauração da diversidade dos polinizadores autóctones na agricultura e nos ecossistemas relacionados: plano de manejo**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2014. p. 97–129.

YUYAMA, K. A cultura de camu-camu no brasil. **Revista brasileira de fruticultura**, v. 33, n. 2 p.335-690, 2011.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. PRODUÇÃO DE AÇAÍ NAS VÁRZEAS DOS RIOS PARAENSES

3.1.1. O Açazeiro (*Euterpe Oleracea* Mart.)

O gênero *Euterpe* congrega cerca de 28 espécies, distribuídas das Antilhas a América do Sul, notadamente nas regiões com florestas tropicais. O açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) da família Arecaceae, é uma palmeira nativa da Amazônia que se

destaca pela abundância e por produzir o açaí, alimento importante para a população local em suas refeições diárias, e o palmito obtido a partir do corte dos estipes, com sua produção destinada ao mercado interno e externo (JARDIM, 2002; VIEGAS et al., 2004).

No Brasil essa palmeira é encontrada nos Estados do Pará, Amapá, Maranhão (NOGUEIRA et al, 2005), Amazonas, Tocantins, Acre, Rondônia (SIMONIAN, 1993), além da Guiana Francesa e da Venezuela (SILVA et al, 2005). O fruto desta espécie apresenta benefícios à saúde humana em função da sua composição nutricional, rica em fibras, lipídeos, fenóis e a antocianina que podem estar relacionados à prevenção de doenças cardiovasculares e (YAMAGUCHI et al., 2015). É utilizado de inúmeras formas: como planta ornamental (paisagismo), na construção de casas e moveis, como remédio, na produção de celulose, na confecção de biojóias, carvão vegetal, adubo orgânico, dentre outros (FARIAS NETO; VASCONCELOS; SILVA, 2010; OLIVEIRA; FARIAS NETO; QUEIROZ, 2014)

Existem outras variedades da palmeira *Euterpe* como a *Euterpe precatorium* Mart, *Euterpe longevaginata* ou *Euterpe caatinga*. Em algumas áreas da ilha do Marajó e no estuário do rio Amazonas pode-se encontrar a etnovarietade branco também denominado de açaí-branco ou açaí-tinga (*Euterpe* spp.) (JARDIM, 2000), o açaí-açu (OLIVEIRA et al, 2002), o açaí-espada na ilha do Combu e no município de Acará e o açaí sangue de boi na parte sul do Amazonas e Santarém (SIMONIAN, 2014). Nos países amazônicos podemos encontrar 49 espécies de *Euterpe* sendo os principais com 19 na Colômbia, 10 no Brasil, 9 na Venezuela, 3 na Bolívia, além de 4 espécies distribuídos pelos países Equador, Trinidad e Tobago (REIS, 2005). No entanto, Oliveira (2007) aponta a existência de 28 espécies do gênero *Euterpe* distribuídas nas Antilhas e América do Sul.

O açazeiro produz touceira (Figura 1A) com até 25 estipes, cujos perfilhos apresentam diferentes estádios de desenvolvimento e sua inflorescência é infrafoliar, sendo envolvida por duas brácteas conhecidas por espatas, ou espádices, que, ao abrirem, expõem o cacho constituído por um ráquis e um número variável de ráquulas, onde estão inseridas milhares de flores masculinas e femininas. Seus frutos são drupas globosas (Figura 1B) que apresentam resíduos florais aderidos de coloração violácea ou verde quando maduros (OLIVEIRA et al. 2002). A polpa do fruto do açazeiro (Figura 1C) é considerado um alimento de alto valor calórico, com elevado percentual de lipídeos, e nutricional, pois, apresenta proteínas e minerais. Na região do estuário do Rio Amazonas, onde há intenso manejo de açazais nativos, o açaí representa a principal base alimentar da população (OLIVEIRA et al., 2002).

Figura 1: Palmeira de açai formando touceira (A), frutos (B) e polpa (C).



Fonte: Costa, 2019.

O habitat natural dessa palmeira são áreas de várzea alta e média. No estuário do rio Amazonas são encontrada as mais densas populações dessa palmeira, cerca de um milhão de hectares, devido a boa adaptação as condições de clima úmido, alta pluviosidade, alta umidade relativa do ar e solos hidromórficos (OLIVEIRA, et al. 2016; NOGUEIRA et al., 2005).

As práticas de manejo mais realizadas em açazais nativos são raleamento, desbaste dos estipes, roçagem e colheita. O raleamento tem o objetivo de aumentar a taxa de luminosidade dentro do açazal a partir da eliminação de algumas espécies nativas. Pois o açai é uma planta heliófila e seu crescimento é reduzido em condições de sombreamento. As principais espécies eliminadas são o mututi (*Pterocarpus amazonicus* Huber), ipê (*Macrolobium anugustifolium* (Benth.) Cowan.), murumuru (*Astrocaryum murumuru* Mart.), pracaxi (*Pentaclethram acroloba* (Willd.) Kuntze.), anani (*Symphonia globulifera* L. f.), e miriti (*Mauritia flexuosa*) (AZEVEDO, 2010). O desbaste de estipes contribui com o aumento da produção, pois é sabido que quanto maior a touceira maior é a competição por luminosidade e nutrientes entre os estipes da mesma touceira (NOGUEIRA et al., 2005). E a roçagem é feita com o objetivo de aumentar a produção de frutos e abrir caminho no açazal para facilitar a colheita dos cachos de açai.

3.1.2. As várzeas

A região que compreende o estuário amazônico se constitui fortemente por florestas de várzea que dominam de forma marcante a paisagem. Estas florestas tropicais concentram-se

principalmente na planície de inundação, formadas a partir da deposição de sedimentos, vindo desde o período Holoceno, há cerca de 11.000 anos (PADOCH et al., 2000) e são fontes, sumidouros e transformadores de nutrientes e carbono, contribuindo assim para a estabilidade global de dióxido de carbono, metano e enxofre na atmosfera e de nitrogênio disponível e fósforo nas águas de superfície, bem como são importantes sumidouros regionais de poluentes orgânicos e inorgânicos (KIRK, 2004).

A região amazônica se caracteriza por apresentar dois grandes tipos de ecossistemas: a terra firme, constituída por áreas relativamente altas não inundáveis, e a terra de várzeas, compostas por áreas inundáveis (Figura 2A), de baixa altitude, que margeiam os rios na planície aluvial de inundação, formadas por solos aluviais resultantes da contínua sedimentação de partículas suspensas nas águas as quais afloram no período de estiagem e/ou em função do regime hidrológico, de vazante (Figura 2B) dos rios que as formam, ou das marés diárias (preamar e baixamar) (SANTOS et al., 2004; NOGUEIRA et al., 2005).

Figura 2: Várzea na enchente (A) e Várzea na vazante (B)



Fonte: Costa, 2019.

De acordo com Junk et al. (1989) as várzeas se caracterizam por possuírem relevos planos, serem recortadas por canais de drenagem natural (igarapés), constituídas por terrenos sedimentares e com ausência de rochas. Apresentam os solos mais férteis da Amazônia em virtude da renovação periódica dos nutrientes causada pelos pulsos das inundações, por meio dos quais as partículas orgânicas e os minerais transportados pelos rios de águas brancas são depositados no solo.

Na maioria das vezes, conforme indica Lima (1956), encontra-se uma sequência de terrenos de diferentes formações fisiográficas denominadas de várzea alta, várzea baixa e igapó,

conforme se avança da margem de um rio para a terra firme adjacente. A várzea alta, uma faixa de nível mais elevado com uma largura média de 150 m que pode medir excepcionalmente até 1.600 m e somente inundável durante as marés de equinócio. A várzea baixa, que tem uma cota menor, com uma diferença de 30 cm de nível em relação à várzea alta, tem uma largura que pode alcançar alguns quilômetros e área bem maior do que a das várzeas altas. Além disso, a inundação na várzea baixa se exerce por mais tempo umedecendo o solo durante quase todo o ano (Figura 2). Finalmente vem o igapó, área em que a água permanece todo o ano e a terra fica constantemente inundada e pantanosa até se encontrar com a terra firme.

Como as áreas de várzeas são sistemas abertos que apresenta específico fenômeno natural de periodicidade das águas ou regime de oscilação hídrica (SILVA & ALMEIDA, 2004) elas criam uma regularidade de inundação nas áreas altas e baixas (JUNK et al. 1989) permitindo através do fenômeno de fluxo e refluxo das marés um rápido transporte e ciclagem de nutrientes dando-lhe com isso maior resiliência. Isto contribui para uma fertilidade e renovação anual do ambiente (SIOLI & SOARES, 2006). Em processo adaptativo as plantas de várzea possuem raízes que, em média, são quase 10 cm maiores quando comparadas com aquelas que crescem em condições de igapó (SILVA & ALMEIDA, 2004).

As características físico-químicas próprias de lagos de várzea tornam-se mais evidentes quando observadas nos baixos níveis das águas, durante o período de seca, onde a variabilidade na qualidade e quantidade do material em suspensão liberados principalmente dos sedimentos acumulados no fundo dos lagos de várzea é menor (BARROUX, 2006; TREVISAN & FORSBERG, 2007). Entretanto, no período de cheia, as características físico-químicas das águas dos lagos de várzea recebem uma grande influência dos rios principais devido à sua proximidade (SALCEDO, 2011).

3.1.3. Os ribeirinhos

A Amazônia é ocupada por uma diversidade de grupos sociais, pertencentes a diversas etnias que historicamente foram construídas e reconstruídas, em virtude desse processo, o homem amazônico é fruto dos intercâmbios históricos de etnias locais e diversos povos que migraram ou perpassaram pela região (FRAXE et al., 2015). O ribeirinho amazônico é definido como aquele que vive em agrupamentos comunitários com várias famílias, situados as margens dos rios e lagos ocupando o ambiente das várzeas do estuário dos rios (Figura 3) que desembocam no Atlântico há várias gerações (CHAVES, 2001), chamados também de Povos das Águas em comparação aos Povos da Floresta (SCHERER, 2004). Estes grupos humanos são caracterizadas como populações tradicionais visto que possuem estreita relação com o

ambiente natural em que vivem, dependem dos recursos naturais para produzir e reproduzir sua existência e praticam atividades tradicionais baseadas no uso da sua própria força de trabalho familiar com pouca tecnologia e com baixo impacto ambiental (ARRUDA, 1999).

Figura 3: Moradia de ribeirinhos nas áreas de várzea.



Fonte: Costa, 2019.

O modo de vida destas populações está condicionado ao ciclo da natureza, pois o fenômeno da enchente e da vazante sistematiza em grande parte o cotidiano ribeirinho. Desta maneira o seu trabalho obedece ao ciclo sazonal quando desenvolve as atividades do extrativismo vegetal (como o fruto de açaí), a pesca artesanal, a captura de camarão, a agricultura e a caça (SCHERER, 2004) com base no conhecimento que lhe foi repassado por seus antepassados, ou nas suas próprias experiências de campo.

O açaizeiro é considerado uma das palmeiras mais importantes do extrativismo florestal sendo utilizada pelas populações amazônicas desde a época pré-colombiana. Destaca-se por sua importância para a subsistência e soberania alimentar das famílias ribeirinhas que vivem do extrativismo e aproveitam o açaizeiro de diversas formas (NOGUEIRA et al., 2013; ARAÚJO; NAVEGANTES-ALVES, 2015).

Para o consumo alimentar são utilizados seus frutos na obtenção da bebida denominada de açaí. Do caule se extrai o palmito, as folhas são usadas para cobrir a “boca” das rasas de açaí, tecer peconhas, cobrir casas e amarrar as iscas (puquecas) da pesca do camarão; dos cachos debulhados são feitas vassouras domésticas ou são cortadas para o uso como adubo, aplicado na base das plantas cultivadas no quintal; o caule serve para esteios, pontes, estivas e paredes de casas; a raiz jovem tem uso medicinal; os caroços (sementes), após a retirada da polpa, são usados para a confecção de colares e pulseiras, ou como adubo (LISBOA, 2009; IPA, 2013). Sua importância é sobretudo cultural, sendo a produção e o consumo do açaí um forte símbolo da tradição local que permite a sua identidade social diante da sociedade (COSTA et al, 2014).

A divulgação das propriedades nutritivas do fruto do açaí possibilitou a abertura de novos mercados de consumo gerando uma demanda crescente nos mercados locais, nacional e internacional (QUEIROZ et al., 2012). O crescimento das exportações estimulou a valorização comercial do fruto (COSTA, et al., 2014) que trouxe ganhos econômicos importantes para as populações ribeirinhas extrativistas, melhorando suas condições de vida (QUEIROZ; MOCHIUTTI 2001). A maior abundância de frutos de açaí ocorre na safra de verão (período de poucas chuvas) que se estende de julho a dezembro, tempo em que a produção chega a ser até três vezes maior que o da safra de inverno (período chuvoso) resultando em grande oscilação de seu preço (QUEIROZ et al., 2012). No Estado do Pará a produção de frutos de açaí responde por aproximadamente 70% da renda dos ribeirinhos (NOGUEIRA et al., 2013; NAVEGANTES-ALVES, 2015).

3.1.4. Solos hidromórficos

Os solos hidromórficos são naturalmente saturados por água e de importância para os ecossistemas naturais, pois contribuem com a estocagem de água e devolução aos rios e nascentes, reduzindo as enchentes e abastecendo aquíferos e lençóis freáticos, são reguladores do microclima, realizam retenção de sedimentos e funcionam como habitats, preservando a biodiversidade do ecossistema (JUNK et al, 2012).

Os principais solos hidromórficos encontrados na Região Amazônica com ocorrência de açaizais são os Plintossolos ou Lateritas Hidromórficas, que normalmente apresentam baixa fertilidade; os Gleissolos háplicos, Gley Pouco Húmico ou Gley Húmico, possuem fertilidade de média a alta, pois são resultantes do acúmulo de sedimentos; e os Espodossolos ou Podzol Hidromórfico, que apresentam baixa fertilidade e acidez (FALESI, 1986 & NOGUEIRA, 2005).

Os solos hidromórficos apresentam características específicas, que refletem o ambiente de drenagem deficiente e a saturação por água na maior parte do tempo. A condição de déficit de oxigênio leva à redução química de uma série de elementos ou compostos (NO_3^- ; óxidos de Mn e Fe; SO_4^{2-}), relacionada à dinâmica da matéria orgânica do solo (PONNAMPERUMA, 1972).

O processo pedogenético predominante nestes solos é a gleização (BUOL et al., 2003). Este processo resulta em características como a coloração acinzentada nos horizontes subsuperficiais, resultante da ausência de compostos de ferro na forma oxidada, com a possível presença de feições de oxidação de ferro localizadas, expressas por coloração cromática vermelha ou amarelada, denominadas como "redoximorphic features" (USDA, 2010). Esta

condição é também propícia ao acúmulo de matéria orgânica, decorrente da redução das taxas de decomposição. Este acúmulo de material orgânico caracteriza o processo pedogenético denominado paludização (BUOL et al., 2003; ANJOS et al., 2008).

As características mineralógicas e químicas dos solos hidromórficos são, em grande parte, ditadas pela natureza do material de origem e do regime de inundações periódicas, conferindo aos solos características diferenciadas, como alta saturação de sódio e, em alguns casos, de alumínio, textura variável em decorrência do tipo de sedimento depositado e riqueza em argilas expansivas (FERNANDES et al., 2007). Além disso, os solos estão sujeitos à adição ou perda de materiais inorgânicos e orgânicos em solução e na forma particulada, especialmente por fluxos laterais (BERTSCH & SEAMAN, 1999), que altera o equilíbrio dos elementos e dos compostos no solo.

O alagamento em áreas úmidas provoca alterações em propriedades físicas, químicas e biológicas no solo (PEZESHKI & DELAUNE, 2012), principalmente determinadas por processos de transporte que controlam os fluxos de solutos e de gases através do solo (KIRK, 2004). O solo torna-se rapidamente anóxico após o alagamento em decorrência do lento transporte de oxigênio através dos poros cheio de água do solo submerso do que através dos espaços de um solo bem drenado (KIRK, 2004). Vale ressaltar que, as áreas úmidas sofrem duração variável de diversos ciclos de alternância de condições aeróbicas e anaeróbicas, afetando um número importante de processos no solo (REDDY & PATRICK, 1975).

A restrição de difusão do ar atmosférico no solo provoca depleção do oxigênio e acumulação de dióxido de carbono no solo (GREENWAY et al., 2006). Logo após o alagamento, o suprimento limitado de oxigênio nos poros do solo é deplecionado rapidamente pelas raízes e microrganismos, provocando a redução do potencial de oxirredução no solo (PEZESHKI & DELAUNE, 2012). Por isso, o fornecimento de oxigênio do ar para o solo é reduzido e vários microrganismos anaeróbios obrigatórios e facultativos utilizam compostos oxidados como aceptores de elétrons para sua respiração, convertendo-os para as formas reduzidas (BURESH et al., 2008).

Após a depleção do oxigênio por respiração de microrganismos e raízes, ocorre a redução do pH, a nitrificação (de NO_3^- para N_2), e a redução de ferro (de Fe^{3+} para Fe^{2+}), manganês (de Mn^{4+} para Mn^{2+}), e sulfato (de SO_4^{2-} para H_2S , S^{2-} ou HS^-), bem como, acumulação de ácidos orgânicos voláteis (acético e butírico) produzidos por metabolismo microbiano (PEZESHKI & DELAUNE, 2012).

O alagamento também altera propriedades hidráulicas do solo, uma vez que o ar preso no interior dos poros de agregados torna-se comprimido por causa da acumulação de produtos

voláteis oriundos da respiração, do inchaço da argila que provoca a ruptura de grandes agregados, e da dissolução da matéria orgânica e óxidos que atuam como agentes de cimentação dos agregados. No início, a permeabilidade do solo aumenta à medida que os gases se acumulam nos poros, mas quando o solo começa a desagregar, a permeabilidade diminui gradualmente (KIRK, 2004).

3.1.5. Adaptações morfo-fisiológicas do açazeiro ao alagamento

A adaptação das plantas é um processo que ocorre a longo prazo, envolvendo muitas gerações. Em condições desfavoráveis ao crescimento, utilizam diferentes recursos para obter condições mínimas ao desenvolvimento e reprodução (SOUSA, 2006).

As palmeiras se adaptam a diferentes ambientes como várzea, igapó e terra firme, devido à sua habilidade de alocação de recursos para as folhas e raízes. A eficiência das folhas para captação de energia luminosa, a capacidade de conversão dessa energia em carboidratos, assim como o seu transporte e o metabolismo nas diversas partes das plantas, são fatores que influenciam no crescimento e sobrevivência das palmeiras quando crescem em locais adversos (SCARIOT, 2001).

Os processos fisiológicos diminuem quando os teores de água disponíveis para a planta decrescem, pois a água exerce um papel fundamental na transferência de nutrientes entre vários compartimentos da planta e na regulação da abertura e fechamento de estômatos nas folhas (PORPORATO et al., 2001). Mudanças no regime hídrico podem acarretar alterações nas taxas de crescimento arbóreo (CLARK & CLARK, 1994), uma vez que a precipitação é a maior fonte de umidade do solo e, conseqüentemente a principal fonte de água para a vegetação (LAY et al., 2008; TIMM et al., 2006).

O excesso de água no solo provocado pela inundação temporária ou contínua do solo é um estresse abiótico que influencia a composição das espécies e produtividade das comunidades de plantas (JACKSON & COLMER, 2005). A inundação promove uma série de processos químicos, físicos e biológicos que alteram a capacidade do solo para suportar o crescimento de plantas (KOZLOWSKI, 1997). A inundação ao eliminar o oxigênio do solo, provoca a substituição de organismos aeróbicos por anaeróbicos que causam a desnitrificação e redução de manganês, ferro e enxofre, bem como, o acúmulo de compostos potencialmente tóxicos (PEZESHKI & DELAUNE, 2012; KIRK, 2004).

Todas as mudanças provocadas pela inundação afetam a capacidade da planta sobreviver em tais condições (PARENT et al., 2008). A tolerância à inundação varia muito com a espécie e idade da planta, bem como com a duração da inundação (KOZLOWSKI, 1997). As

adaptações fisiológicas das plantas ao excesso de água no solo consistem em aumento da resistência estomática, declínio da fotossíntese e condutância hidráulica da raiz, e redução da translocação de fotoassimilados (STRIKER, 2012; PARENT et al., 2008), o que afeta o crescimento das plantas (PEZESHKI, 2001).

As adaptações estruturais das plantas ao excesso de água no solo consistem em formação de lenticelas, aerênquimas (Figura 4), raízes adventícias, pneumatóforo, raízes tubulares (sapopema), suberização de raízes, transporte pressurizado de gás, fixação de nitrogênio e rebrota (PAROLIN, 2012). Além disso, ainda existem adaptações fenológicas como perda de folhas, maturação de frutos e liberação de sementes, e adaptações reprodutivas como tolerância a submersão, dormência de sementes, e germinação imediata (PAROLIN, 2012).

Figura 4: Estrutura de adaptação do açazeiro ao alagamento



Fonte: Costa, 2019.

Um dos mecanismos da tolerância ao alagamento é a capacidade da planta regular o transporte de íons por meio das membranas celulares (PANG; SHABALA, 2010), utilizar menores taxas de respiração radicular, culminado na alteração do metabolismo aeróbico para o anaeróbico com menor produção de energia (BAILEY-SERRES; VOESENEK, 2008), desenvolver respostas morfofisiológicas visando à superação do estresse provocado pela falta de oxigênio radicular, como formação de raízes adventícias (FABBRI et al., 2005; SURALTA; YAMAUCHI, 2008; YIN et al., 2010).

A adaptação primária das plantas ao alagamento do substrato é a capacidade de absorver O₂ pelos tecidos aéreos, aumentando sua concentração nesses tecidos e favorecendo as formações de lenticelas hipertróficas, aerênquima e raízes adventícias (KOZLOWSKI, 1997). O transporte de O₂ é necessário para a manutenção da respiração aeróbica principalmente nas raízes que se encontram sob hipoxia ou anoxia (PEZESHKI, 2001). Sob condições de estresse, se a assimilação de carbono for dependente do fechamento estomático, a concentração interna de CO₂ nas folhas (C_i), poderá ser baixa, implicando em limitações da atividade fotossintética (ASHRAF, 2003).

Carvalho et al. (1998) citam que o açazeiro é adaptado a ambiente com alagamento periódico do sistema radicular ocasionado pelo efeito das marés, não afetando a absorção de água pelas raízes; já no período de seca, em que a maré alta não cobre parte da vegetação, a absorção de água é mantida em níveis suficientes para suprir a demanda de transpiração.

Gama et al. (2002) afirmaram que em ambiente de várzea o açazeiro se desenvolve no sub-bosque com pouca luminosidade, contudo, as plantas têm respostas fisiológicas (fotossíntese) e morfológicas (crescimento) diferentes dependendo do nível de luz a que são submetidas.

3.2. Abordagem sócio-econômica

A importância socioeconômica do açazeiro na Amazônia, decorre do grande potencial de aproveitamento integral da matéria prima (HOMMA et al., 2006). É utilizado de inúmeras formas: como planta ornamental (paisagismo), na construção de casas e moveis, como remédio (vermífugo e antidiarreico), na produção de celulose (papel Kraft), na confecção de artesanato (biojoias), carvão vegetal, adubo orgânico, dentre outros (FARIAS NETO; VASCONCELOS; SILVA, 2010; OLIVEIRA; FARIAS NETO; QUEIROZ, 2014).

O fruto do açaí possui grande importância socioeconômica por constituir-se em uma importante fonte alimentar para a população urbana e rural na Amazônia (MOURÃO, 2010). O açaí está entre as frutas de destaque nacional e internacional, por ser considerada uma “superfruta”, em função da sua composição nutricional, rica em fibras, lipídeos, fenóis e a antocianina que podem estar relacionados à prevenção de doenças cardiovasculares e (MOURA ROCHA, 2015; YAMAGUCHI et al., 2015). O fruto é o principal fornecedor de matéria prima para fabricação de produtos derivados com alto valor comercial no mercado nacional e internacional, como a polpa processada, sorvete, geleia, doces, corante natural para

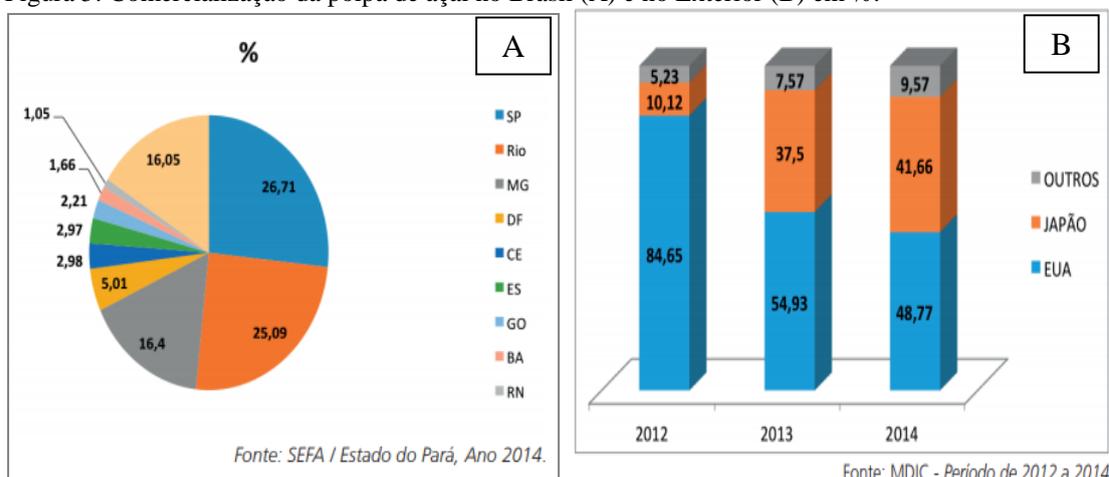
indústria de alimentos, bebidas energéticas e também vem sendo muito utilizado na indústria farmacêutica e cosmética (LIMA et al., 2013).

O mercado de açaí é classificado a partir de uma distribuição espacial: regional, nacional e internacional. O mercado regional tem como característica principal o fruto *in natura*, já os outros mercados voltam-se mais para produtos derivados da fruta. O fluxo de comercialização do mercado regional divide-se em três níveis: o primeiro refere-se as relações comerciais entre os produtores e compradores locais; o segundo caracteriza-se pelas compras em grande estoque de açaís pelos atacadistas a fim de vendê-los para os compradores locais; o terceiro nível destina-se a comercialização da bebida do açaí e derivados no varejo (PESSOA & ALMEIDA, 2012).

O mercado nacional opera a polpa de açaí congelada (através das agroindústrias) apenas entre o território nacional, principalmente Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais (Figura 5A). Já o mercado internacional visa questões de segurança do alimento, quanto a higiene sanitária das agroindústrias, a exigência da pasteurização e as análises complementares de acordo com os clientes e país de destino (PESSOA & ALMEIDA, 2012).

Nos últimos anos o açaí alcançou visibilidade em outros estados do Brasil e no exterior (Figura 5A e 5B), principalmente a partir da divulgação de pesquisas que comprovam a importância nutritiva do fruto, pois, o mesmo é rico em lipídios, polifenóis dietéticos, polifenóis bioativos, antioxidantes, proteínas, minerais como o K, Ca, P, Mg, Fe e vitaminas E e B1. Na figura 5B é possível notar que a comercialização da polpa de açaí para o Japão aumentou e que este e os Estados Unidos são os países que mais importam a polpa do fruto de açaí (OLIVEIRA et al., 2016).

Figura 5: Comercialização da polpa de açaí no Brasil (A) e no Exterior (B) em %.



Em 2018 o Brasil produziu quase 222 mil toneladas de açaí. Os principais Estados produtores foram o Pará, o Amazonas e o Maranhão, sendo que o Pará foi responsável por 67% da quantidade produzida, em áreas nativas e plantadas, no País. Os municípios que mais produzem açaí no Brasil são, em ordem decrescente, Igarapé Miri, Abaetetuba, Cametá, Limoeiro do Ajuru e Oeiras do Pará, todos no Estado do Pará, com um volume total de aproximadamente 70 t de frutos sendo esse volume total vindo das áreas nativas (IBGE, 2019).

3.3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Matéria orgânica e pedogênese. In: **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.66-85.
- ARAÚJO, C. T. D.; NAVEGANTES-ALVES, L. de F. Do extrativismo ao cultivo intensivo do açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) no estuário amazônico: sistemas de manejo e suas implicações sobre a diversidade de espécies arbóreas. *Revista Brasileira de Agroecologia*. v.10, n.1, p.12-23, 2015.
- ARRUDA, R. “Populações tradicionais” e a proteção dos recursos naturais em unidades de conservação. *Ambiente & sociedade*, v. 7, n. 5, p. 79-92, 1999.
- AZEVEDO, J. R. de. Sistema de manejo de açazeiros nativos praticados por ribeirinhos. São Luis: EDUFMA, 2010, 100p.
- BAILEY-SERRES J.; VOESENEK L.A. Flooding stress: acclimations and genetic diversity. *Annual Review of Plant Biology*, v. 59, p. 313–339, 2008.
- BERTSCH, P.M.; SEAMAN, J.C. Characterization of complex mineral assemblages: Implications for contaminant transport and environmental remediation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v.96, p: 3350-3357. 1999
- BUOL, S. W.; HOLE, F. D.; McCRAKEN, R. J. **Soil genesis and classification**. Iowa: Iowa State University Press, 2003. 435p.
- BURESH, R.J., REDDY, K.R. & KESSEL, C.V. 2008. Nitrogen transformations in submerged soils. In ‘Nitrogen in agricultural systems’. (Eds JS Schepers, WR Raun) *Agronomy Monograph* 49. pp. 401-436.
- CARVALHO, J.E.U. et al. Características físicas e de germinação de sementes de espécies frutíferas nativas da Amazônia. *Boletim de Pesquisa*. Belém: Embrapa - CPATU. 1998, 203: 1-18p.
- CHAVES, M. P. S. R. Uma experiência de pesquisa-ação para gestão comunitária de tecnologias apropriadas na Amazônia: o estudo de caso do assentamento de Reforma Agrária Iporá. 2001. Tese (Doutorado em Política Científica e Tecnológica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- CLARK, D.A. & CLARK, D.B. 1994. Climate-induced annual variation in canopy tree growth in Costa Rica tropical rain forest. *Journal of Ecology* 82: 865-872
- COSTA, A. P. D.; NAVEGANTES-ALVES, L. F.; MARTINS, P. F. S. Efeito do manejo intensivo do açaí (*Euterpe oleracea*) na diversidade de atividades produtivas na comunidade de

- Santo Antônio, município de Igarapé – Miri, PA. In: VI Encontro da Rede de Estudos Rurais, 2014, Campinas. Rede de Estudos Rurais. Rio de Janeiro: Rede de Estudos Rurais, 2014. v. 6.
- FABBRI, L.T.; RUA, G.H.; BARTOLONI, N. Different patterns of aerenchyma formation in two hygrophytic species of *Paspalum* (Poaceae) as response to flooding. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, Freiberg, v.200, n.4, p.354-360, 2005.
- FALESI, I. C. Estado atual de conhecimento de solos da Amazônia brasileira. In: SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO, 1., 1984, Belém,PA. **Anais...** Belém, PA: EMBRAPA-CPATU. 1986. v.1, p. 168-191. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 36).
- FALESÍ, L. A. et al. Evolução e interação entre a produção e o preço das frutas no Estado do Pará. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 1, n. 53, p. 69–77, 2010.
- FARIAS NETO, J. T.; VASCONCELOS, M. A. M.; SILVA, F. C. F. da. Cultivo, processamento, padronização e comercialização do açaí na Amazônia. **CEP**, v. 60120, p. 2, 2010.
- HOMMA, A.K.O.; NOGUEIRA, O. L.; MENEZES, A. J. E. DE. CARVALHO, J. E. U. DE. NICOLI, C. M. L.; MATOS, G. B. Açaí: novos desafios e tendências. Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em periódico indexado (ALICE), Amazônia: Ciência & Desenvolvimento, Belém, v. 1, n. 2, jan./jun, 2006.
- IPA. Instituto Pacto Amazônico, Amazonas. Opções sustentáveis - manejo e cultivo de açaí na calha do rio Madeira, Sul do Amazonas, Amazonas, 2013.
- JACKSON, M.B. & COLMER, T.D. Response and Adaptation by Plants to Flooding Stress. **Annals of Botany**, v.96, p: 501-505. 2005.
- JARDIM, M. A. G. A cadeia produtiva do açaizeiro para frutos e palmitos: implicações ecológicas e socioeconômicas no Estado do Pará. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, sér. Antropol.* 18(2):287-305. 2002.
- JARDIM, M. A. G. Morfologia e ecologia do açaizeiro *Euterpe oleracea* Mart. e das etnovariedades espada e branco em ambientes de várzea do estuário. 2000. 119 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2000.
- JUNK, W. J. et al. Definição e classificação das Áreas Úmidas (AUs) brasileiras: base científica para uma nova política de proteção e manejo sustentável. Cuiabá, INAU, 2012.
- KIRK, G. The **Biogeochemistry of Submerged Soils**. John Wiley & Sons, Chichester, 2004.
- LIMA, R. R. Agricultura nas várzeas do Estuário. *Bol. n° 33 do Instituto Agrônomo do Norte. Min. Agricultura.* 1956.
- LISBOA P. L.B., Aurá: Comunidades & Florestas, Belém: MPEG, 2009. LOPES, M. L. B.; SANTANA, A. C. O mercado do fruto do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) no estado do Pará. In: CARVALHO, D. F. (Org.). *Economia da Amazônia nos anos 90*, v. 2. Belém: UNAMA, 2005.
- MOURA ROCHA, S. M. B. De. Benefícios funcionais do açaí na prevenção de doenças cardiovasculares. *Journal of Amazon Health Science*, v. 1, n. 1, p. 1-10, 2015.

NASCIMENTO W. M. O do. Açai *Euterpe oleracea* Mart. *Informativo Técnico da Rede de Sementes da Amazonia*, n. 18, 2008.

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

OLIVEIRA, L. P. de. et al. Programa de Desenvolvimento da Cadeia Produtiva do Açai no Estado do Pará - PROAÇAÍ – PA. Belém, SEDAP, 2016. 41p.

OLIVEIRA, M do S.P de; CARVALHO, J.E.U.; NASCIMENTO, W.M.O.; MÜLLER, C.H. Cultivo do açazeiro para produção de frutos. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 17 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Circular técnica, 26), 2002.

OLIVEIRA, M. do S. P. de; NETO, J. T. de F.; PENA, R. da S. *Açai: técnicas de cultivo e processamento*. Fortaleza: Instituto Frutal, 2007.

OLIVEIRA, M. DO. S.P. de; FARIAS NETO, J. T.; DE QUEIROZ, J. A. L. Cultivo e manejo do açazeiro para produção de frutos. In: *Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: VI Encontro Amazônico de Agrárias, Belém, PA. Ufra, 2014.

OLIVEIRA, M. S. P. de; CARVALHO, J. E. U. de; NASCIMENTO, W. M. O. do. *Açai (Euterpe oleracea Mart.)*. Jaboticabal: Funep, 2000. 52 p. (Série Frutas Nativas, 7).

PARENT, C., CAPELLI, N., BERGER, A., CRÈVECOEUR, M. & DAT, J.F. 2008. An overview of plant responses to soil waterlogging. *Plant Stress* 2 (1): 20-27.

PAROLIN, P. Diversity of adaptations to flooding in trees of Amazonian floodplains. *Pesquisas-Botânica*, v.63, p:7-28. 2012.

PESSOA, J. D. C.; ALMEIDA, G. H. de. *Tecnologias para inovação nas cadeias euterpe*. Teixeira editores. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 343 p.

PEZESHKI, S.R. & DELAUNE, R.D. Soil Oxidation-Reduction in Wetlands and Its Impact on Plant Functioning. **Biology**, v.1, p: 196-221. 2012.

PEZESHKI, S.R. Wetland plant responses to soil flooding. *Environmental and Experimental Botany*, v.46, p:299-312, 2001.

PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soil. **Advances in Agronomy**, v.24, p: 29-96. 1972.

PORPORATO, A.; LAIO, F.; RIDOLFI, L.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. Plants in water-controlled ecosystems: active role in hydrologic processes and response to water stress - III. Vegetation water stress. *Advances in water resources*, v.24, n(7), p:725-744, 2001.

PORTUGAL, A.F. *Geoambientes de terra firme várzea da Região do Juruá, Noroeste do Acre*. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição em Plantas), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2009.

QUEIROZ, J. A L. de; MOCHIUTTI, S. (Orgs.). Guia prático de manejo de açazais para produção de frutos. Macapá: EMBRAPA-AP/IEPA, 24p. (Embrapa Amapá. Documentos, 26), 2001.

QUEIROZ, J. A. L. de; MOCHIUTTI, S.; DA SILVA M. A.; Guia prático de manejo de açaizais para produção de frutos. 2. ed. rev. amp. - Macapá: Embrapa Amapá, 2012.

REDDY, K.R. & PATRICK JR., W.H. Effect of alternate aerobic and anaerobic conditions on redox potential, organic matter decomposition and nitrogen loss in a flooded soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.7, n.(2), p: 87-94. 1975

REIS, E. Saúde em perigo: aumenta o consumo de açaí de má qualidade. Amapá em Dia. Jornalismo interpretativo. 31 maio 2005.

SALCEDO, A.K.M.: Riqueza E Densidade De Macroinvertebrados Aquáticos Associados Às Macrófitas Aquáticas Nos Lagos De Várzea Janauacá (Am) E Grande De Curuai (Pa) Da Amazonia Central Brasileira (Tese de Doutorado). 2011.

SANTANA, A.C. de; COSTA, F. A. Mudanças recentes na oferta e demanda do açaí no Estado do Pará. In: SANTANA, A.C. de; CARVALHO, D. F.; MENDES, A. F. T. Análise sistêmica da fruticultura paraense: organização, mercado e competitividade empresarial. Belém: Banco da Amazônia, 2008. p.205-226

SANTOS, R. S. M.; MIRANDA, I. S.; TOURINHO, E M. M. Análise florística e estrutural de sistemas agroflorestais das várzeas do rio Juba, Cametá, Pará. *Acta Amazonica*, v. 34, n. 2, p. 251-263, 2004.

SCARIOT, Aldicir. Weedy and secondary palm species in Central Amazonian Forest fragments, *Acta Botânica Brasílica*, 15 (2): 271-280, 2001.

SCHERER, E. Mosaico Terra - Água: A vulnerabilidade social ribeirinha na Amazônia. Trabalho apresentado no VIII Congresso Luso-Afro-Brasileiro de Ciências Sociais, Coimbra, Portugal. 2004.

SILVA, A.DO S. L. DA et al (SEPOF) – Secretaria Executiva de Planejamento, Orçamento e Finanças – Diretoria de estudos, pesquisa e informações socioeconômicas (Gerência de base de dados estatísticos do Estado), Estatística Municipal 2005.

SILVA, E. E. da.; AZEVEDO, P. H. S. de.; DE-POLLI, H. *Determinação do Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (BMS-C)*. Comunicado técnico 98: Embrapa, 2007.

SIMONIAN, L. T. L. Anotações de campo e produção fotográfica sobre as bandeirinhas indicativas de venda de “vinho” de açaí e sobre outros aspectos culturais envolvendo esse produto. Belém, 2010-1993. Acervo da autora.

SIMONIAN, L. T. L. MAÇAÍ: as origens e possibilidades; proposta de estrutura. Paper apresentado no seminário Museu e memória: o MAÇAÍ e suas experiências iniciais. Belém: NAEA-MAÇAÍ, 18 mai. 2011a. 10p., il.

SIMONIAN. L. T. L. (2014). Açaí, ah! Em Belém do Pará tem! Natureza, cultura e sustentabilidade. Belém: Editora do NAEA; MAÇAÍ; PROEX; UFPA.

SOUSA, L. A.S. DE. Desenvolvimento de plantas jovens de açaizeiro (*euterpe oleracea* mart.) plantado em área com vegetação secundária (capoeira) na localidade de benjamin constant, município de Bragança, estado do Pará. Dissertação. 62p, (Mestrado em Botânica Tropical) – Universidade Federal Rural da Amazônia e Museu Paraense Emílio Goeldi. Belém, 2006.

SOUZA, L.A.S.; JARDIM, M.A.G. Produção foliar de mudas de açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) em área de vegetação secundária no Nordeste Paraense. *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v.5, n.2, p.225-227, 2007.

STRIKER, G.G. Flooding Stress on Plants: Anatomical, Morphological and Physiological Responses In: J.K Mworira (ed.) *Botany* (ISBN 979-953-307-5029), InTech–Publisher, Rijeka-Croatia, pp 3-28. 2012.

SURALTA, R.R.; YAMAUCHI, A. Root growth, aerenchyma development, and oxygen transport in rice genotypes subjected to drought and water logging. *Environmental and Experimental Botany*, Amsterdam, v.64, n.1, p.75-82, 2008.

TAVARES, G. dos S.; HOMMA, A. K. O. Comercialização do açaí no Estado do Pará: Alguns cometários. *Revista Observatorio de la Economía Latino-americana*, Brasil, n. 211, 2015.

4. CAPÍTULO 1 – ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS E ESTRUTURAIS DO SOLO SOB AÇAIZAIS NATIVOS NA AMAZÔNIA ORIENTAL

4.1. INTRODUÇÃO

O açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma das espécies vegetais nativas da Amazônia brasileira que se destaca pela sua abundância e expansão, sendo encontrado na maioria dos estados da Amazônia brasileira e em outros países da América do Sul e América Central. Porém, é na região do Estuário do Rio Amazonas que são encontradas as mais densas populações da espécie em ambiente natural de várzea (NOGUEIRA et al., 2005).

O fruto do açazeiro, o açaí, é de grande importância socioeconômica por constituir-se em uma importante fonte alimentar para a população urbana e rural na Amazônia (MOURÃO, 2010). Além disso, o açaí está entre as frutas de destaque nacional e internacional, por ser considerada uma “superfruta”, em função da sua composição nutricional, rica em fibras, lipídeos, fenóis e a antocianina que podem estar relacionados à prevenção de doenças cardiovasculares (YAMAGUCHI et al., 2015).

No Brasil, o estado do Pará é o maior produtor de açaí, com uma produção anual de 1.274.056 toneladas do fruto (nativo e irrigado) e uma área cultivada superior à 188.483 hectares (IBGE, 2019). As regiões do Tocantins e Marajó constituem os maiores centros produtores do estado, sendo os responsáveis por 80% da produção.

A polpa é a principal forma de comercialização do açaí e o Pará é o único estado que vende parte de sua produção para o mercado externo (SILVA, 2019). O aumento gradual na demanda do produto, tanto no mercado interno como no externo, segundo Faria et al. (2012) se deve em virtude do caráter energético e nutritivo do mesmo, além de conferir propriedades funcionais aos seus consumidores, devido ao alto teor de fibras e antioxidantes presentes no produto.

O aumento de produção de açaí está se dando principalmente pela conversão de áreas de terra firme de cultivos agrícolas abandonados e/ou áreas degradadas, em áreas de açaí cultivado (FARIAS NETO et al., 2011) e, pela intensificação da exploração extrativista do açaí nativo, de áreas alagadas do estuário do rio Amazonas. Esta última, levou um processo de transformação da floresta em quase um monocultivo da espécie *E. oleracea* (HOMMA, 1993). Nessas áreas de florestas inundáveis, os extratores mantêm elevada densidade populacional de açaizeiros (200 estipes ha⁻¹) com conseqüente redução de 50% da diversidade de espécies arbóreas e 63% na riqueza de espécies pioneiras (FREITAS et al., 2015).

Portanto, em áreas de açazais nativos, o desmatamento é o principal problema que compromete a qualidade do solo, pois, a eliminação de espécies nativas para aumentar a luminosidade dentro dos açazeiros causa o enfraquecimento das encostas e, em conseqüência, a erosão e a deposição de grandes quantidades de sedimentos no leito dos rios (GONÇALVES e BRASIL, 2016). As espécies nativas desempenham funções ecológicas e estruturais, a perda dessas espécies contribui para o agravamento de um problema comum nas áreas de várzeas, o fenômeno de erosão, referido também como “terras caídas” (FALESI E SILVA, 1999).

No entanto, não há na literatura referências sobre os atributos físicos do solo em áreas várzeas sob açazais nativos. Tais informações são importantes para auxiliar no monitoramento da qualidade do solo nas áreas nativas manejadas, a fim de avaliar o grau das modificações causadas pelo manejo dessas áreas, pois o solo mantido em estado natural, sob vegetação nativa, apresenta características físicas como estrutura, permeabilidade, densidade e porosidade do solo adequadas ao desenvolvimento normal das plantas (ANDREOLA et al., 2000). Portanto, o estudo destes atributos tornam-se essenciais quando o objetivo é o manejo racional, produtividade sustentável e predição dos ecossistemas florestais, já que floresta e solo encontram-se interligados (WOJCIECHOWSKI, 2009).

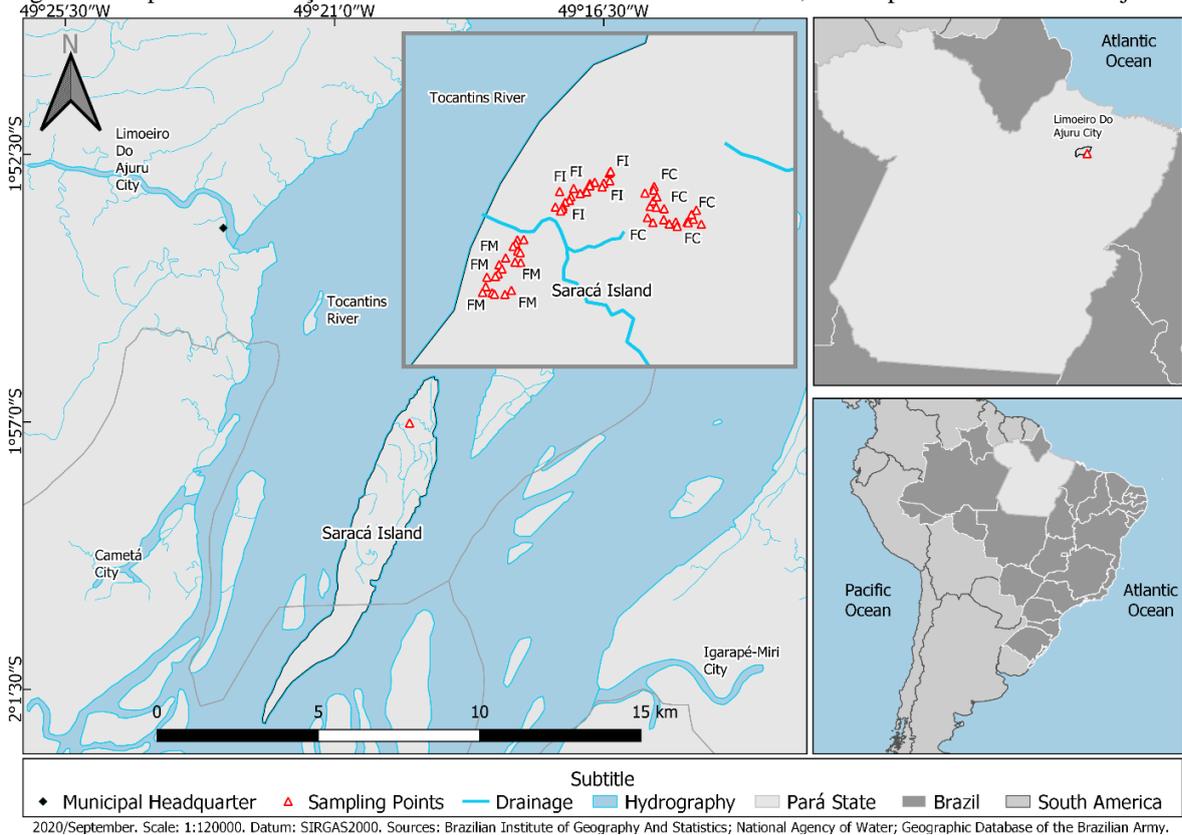
Desta forma, visando contribuir para a manutenção e manejo adequado dos ecossistemas, este estudo tem como objetivo avaliar os diferentes sistemas de várzea por meio dos atributos físico-hídricos e estruturais do solo sob açazais nativos.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo foi a Ilha de Saracá, localizada no município de Limoeiro do Ajurú (Figura 6), situado na mesorregião Nordeste do estado do Pará, banhada pelo rio Tocantins (1° 53' 53" S; 49° 23' 27" O).

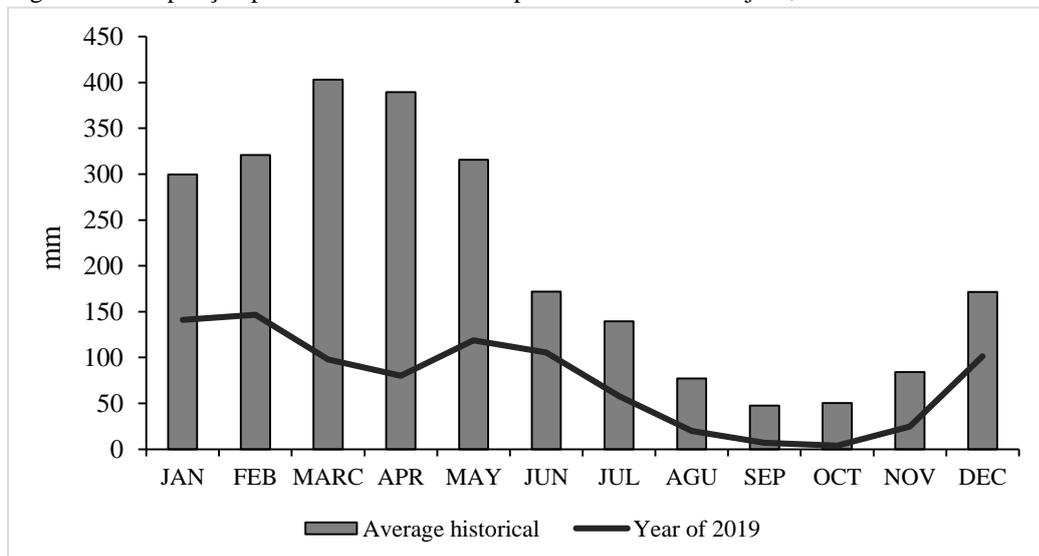
Figura 6: Mapa de Localização das áreas de coletas de solo na Ilha Saracá, município de Limoeiro do Ajurú



FM: Várzea próxima a margem do rio; FI: Várzea intermediária; FC: Várzea central.

O clima do município segundo a classificação climática de Köppen é do tipo Af com precipitação média anual de 2250 a 3000 mm. A ocorrência, frequência e distribuição da chuva através do índice pluviométrico apresentam duas estações regionalmente conhecidas como verão (mais chuvosa) que engloba os meses de dezembro a junho e o inverno (menos chuvosa) sendo os meses de julho a novembro (Figura 7) (CORDEIRO et al., 2017).

Figura 7: Precipitação pluviométrica no município de Limoeiro do Ajurú, média histórica de 1995 a 2019.



Fonte: Agência Nacional de Água – ANA, 2020.

Os solos encontrados nesse município são classificados como Neossolo Quartzarênico e Gleissolo Háptico, este último em maior quantidade (IBGE, 2014). O solo encontrado na Ilha Saracá é classificado como Gleissolo Háptico. A ocupação mais tradicional encontrada neste município é caracterizada como ribeirinha, geralmente está envolvida em pluriatividades baseadas principalmente no extrativismo vegetal, na pesca e em atividades agrícolas de pequena escala (BASTOS et al., 2010).

As áreas de várzea são florestas que sofrem as inundações periódicas que tornam o ambiente com uma paisagem heterogênea, condições ecológicas particulares, ecossistemas abertos, associados às planícies de inundações dos rios e igarapés de água branca, submetidos a um ciclo diário de enchentes e vazantes por água doce, represada pelas marés. As áreas de várzeas selecionadas para o estudo são exploradas a mais de 70 anos pelos ribeirinhos locais e que mantem a floresta ao seu estado original apenas fazendo tratos culturais de desbastes de árvores frutíferas altas que promovem muito sombreamento e palmeiras de açaí geralmente com o diâmetro mais fino e tortas.

Foram selecionadas três áreas de várzea dentro da Ilha Saracá (Figura 6), classificadas de acordo com a disposição em relação ao Rio Tocantins. Este rio circunda toda a ilha e através dele são derivados muitos estreitos conhecidos com igarapés ou furos. O igarapé é um curso do rio ou um canal que fica escondido no interior das matas e é uma importante via de acesso para embarcações se locomoverem. O igarapé Amândio corta as três áreas de várzeas estudadas é através dele que essas áreas sofrem a influência da maré carreando os sedimentos advindos do rio principal (Figura 6).

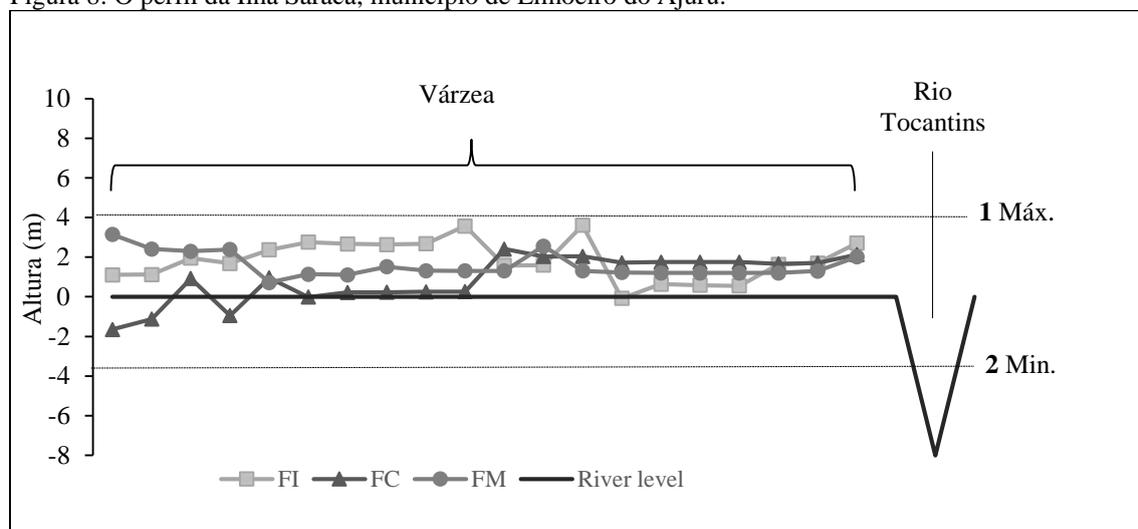
A várzea próxima da margem (F_M) é aquela que fica a 100 m do nível do rio sendo a mais próxima de sua margem e por isso sofre a maior variação da ação da maré e compreende uma vasta floresta de espécies como Andirobeira, Ucuubeira, Miritizeiro, Açaizeiro, Bananeira, Mangueira, Cacaueiro, Limoeiro, Aningueira, Ingazeiro e Seringueira. A várzea intermediária (F_I) se localiza a 300 m do nível do rio e sofre a influência da maré através do caminho da água pelo Igarapé sendo a área mais alta em relação as outras e por isso, em determinados dias não é inundada totalmente. Possui uma vasta floresta composta por Andirobeira, Ucuubeira, Açaizeiro, Mangueira, Cacaueiro, Limoeiro, Aningueira, Ingazeiro e Seringueira. Por último a várzea central (F_C) que se encontra a 800 m distante do nível do rio e sofre a influência da maré através do caminho da água pelo Igarapé sendo a área mais distante em relação ao percurso que a água do rio realiza. Por ser a área mais distante é a que possuem um manejo menor e na maioria das vezes os resíduos permanecem na área deixando o solo mais saturado. Compreende

uma floresta com exuberantes espécies Andirobeira, Ucuubeira, Açaizeiro, Seringueira, Cacaueiro, Aningueira e Ingazeiro.

Esta ilha foi selecionada devido a abundância de açaiçais nativos e pela manutenção da floresta bem preservada. Este ambiente é representativo de áreas que servem como banco de germoplasma para seleção de indivíduos com alta produtividade para serem cultivados fora do seu ambiente natural.

As três áreas de várzeas sofre influência da maré. O processo de subida das águas denomina-se enchente da maré (Figura 8), com duração máxima de 6 horas, ao fim das quais ela atinge a máxima elevação chamada de Maré alta ou Preamar. Durante a preamar o movimento da maré cessa, por cerca de 7 minutos, e posteriormente inicia-se a vazante da maré (Figura 8), com duração também de 6 horas, quando a água atinge o ponto máximo de abaixamento chamado de Maré Baixa ou Baixamar, na qual a maré permanece parada por 7 minutos (JUNK, 1989). Nos momentos de preamar e baixamar, é depositada a maior quantidade de sedimentos no solo. Os mais pesados se depositam nas margens dos rios e os mais leves no interior da floresta (JUNK, 1989).

Figura 8: O perfil da Ilha Saracá, município de Limoeiro do Ajuru.



1: enchente; 2: vazante.

As coletas de amostras de solo foram realizadas no período menos chuvoso (Agosto de 2019) para manter a estrutura e preservar as amostras. Os pontos de coleta (Figura 6) foram georreferenciados com auxílio de GPS (*Global Position System*) geodésico. As três áreas possuem uma floresta bastante adensadas e manejo mínimo que dificulta a amostragem da área devido a uma grande presença de raízes e com isso foi realizada a amostragem somente na camada de 0-10 cm. O espaço amostral das três áreas de várzeas coletadas foram respectivamente 4 ha para a F_M e F_C e 1,4 ha para a F_I .

4.2.2. Propriedades físico-hídricas do solo

As amostras indeformadas foram utilizadas para a determinação da densidade do solo (D_s), densidade de partículas (D_p) e retenção de água no solo. Para esta última as amostras foram saturadas em bandejas, durante 24 h, por meio da ascensão capilar e submetidas aos potenciais mátricos: -10; -30; -60; -70; -100; -300; -500; -700 hPa em mesa de tensão (LIMA e SILVA, 2008); e para os conteúdos de água nos potenciais de -1000 a -15000 hPa foram determinados com psicrômetro modelo WP4-T, marca Decagon® Devices® utilizando amostras deformadas. A retenção de água foi determinada devido que no período que as chuvas reduzem conseqüentemente diminuem as enchentes e isto coincide com a alta produtividade dos açaçais e estes necessitam de muita água para manter a alta produtividade e portanto verificar o comportamento da retenção de água no solo destas áreas.

As curvas características de retenção de água no solo, para cada área, foram ajustadas pelo modelo matemático duplo exponencial proposto por Dexter et al. (2008), conforme a equação 1:

$$U_g = C + A_1 e^{(-h/h_1)} + A_2 e^{(-h/h_2)} \quad (1)$$

Onde: U_g é a umidade gravimétrica do solo ($g\ g^{-1}$) que é expressa em função do potencial mátrico (h); C é a assíntota da equação e corresponde ao conteúdo de água residual; A_1 e A_2 descrevem o conteúdo de água referente a porosidade textural e estrutural, respectivamente; e h_1 e h_2 correspondem aos potenciais mátricos aplicados para esvaziar o espaço poroso textural e estrutural, respectivamente.

A distribuição do tamanho dos poros foi calculada a partir da diferenciação do modelo duplo exponencial, equação 1, em relação ao potencial mátrico conforme sugerido por Dexter et al. (2008). O diâmetro efetivo dos poros texturais (δ_1) e dos poros estruturais (δ_2), em μm , foi calculado usando a equação 2:

$$\delta = 3000/h \quad (2)$$

onde, δ é o diâmetro efetivo dos poros (μm) e o h o potencial mátrico, responsável por esvaziar poros texturais e estruturais (hPa). A equação 2 deriva da equação física de ascensão capilar de Young-Laplace.

As razões de vazios equivalentes aos poros residuais ($e_{residual}$), texturais ($e_{textural}$) e estruturais ($e_{estrutural}$) foram obtidas por meio das equações 3 a, b e c, respectivamente:

$$e_{residual} = C[\rho_s/\rho_\theta] \quad (3a)$$

$$e_{textural} = A_1[\rho_s/\rho_\theta] \quad (3b)$$

$$e_{\text{estrutural}} = A_2[\rho_s/\rho_\theta] \quad (3c)$$

onde, ρ_s é a densidade de partículas (g cm^{-3}) e ρ_θ é a densidade da água (g cm^{-3}). C , A_1 e A_2 são os parâmetros de ajuste da equação 1.

Na sequência, as amostras foram secas em estufa a 105°C até atingir massa constante para a obtenção da densidade do solo (D_s) (BLAKE e HARTGE, 1986). A densidade das partículas (D_p) foi determinada pelo método do picnômetro de água (BLAKE e HARTGE, 1986). A distribuição do tamanho das partículas do solo foi quantificada de acordo com GEE e OR (2002). A porosidade total (PT) foi calculada a partir da densidade do solo e da densidade das partículas (TEIXEIRA et al., 2017b).

Para a realização da análise de estabilidade de agregados foram separadas 12 monólitos por área. Esta análise foi determinada pelo método de peneiramento úmido, conforme metodologia de Kemper and Chepil, (1965) utilizando o equipamento de oscilação vertical (Yoder, 1936). Os monólitos foram destorroadas e passados na peneira de 8 mm. Os agregados retidos na peneira de 8 mm foram pesados em sub amostras contendo 50 g de agregado e umedecidas por capilaridade em placas de vidro com papel filtro durante 2 horas (Cesário et al., 2010) de forma a observar um filme de água sobre as amostras, garantindo sua saturação.

Após 2 horas, as amostras são transferidas cuidadosamente para um conjunto de peneiras com aberturas de 4,76 mm; 2,00 mm; 1,00 mm; 0,50 mm; 0,25 mm e 0,105 mm, que se encontram dentro de um balde, e acopladas a um agitador com oscilação vertical. Em cada balde foi colocado volume de água suficiente para encobrir a amostra de solo depositada na peneira de 4,76 mm, quando na posição mais elevada do curso de oscilação. As amostras foram agitadas neste conjunto durante 15 minutos, a 42 oscilações por minuto. Em seguida, o material retido em cada peneira é transferido, com auxílio de jatos de água, para béckers, as quais são levados à estufa a 105°C para determinação da massa seca de solo retida em cada peneira. O volume de água, juntamente com o material inferior a 0,105 mm, é transposto a outro balde, através de uma peneira com abertura de 0,053 mm, sendo o material retido na peneira transferido para o bécker, como as demais (SALTON, 2012).

Após a pesagem, adicionou-se solução dispersante (NaOH), em quantidade suficiente para encobrir o material, sendo então lavado com água sobre a respectiva peneira. Após a lavagem, colocou-se o material retido nos béckers em estufa a 105°C , para determinação da massa seca. Este procedimento foi realizado com a finalidade de descontar a massa existente de partículas individuais de tamanho equivalente aos agregados desta classe; portanto, são excluídos cascalhos, grãos de areia e outras partículas existentes na fração, obtendo-se apenas

a massa de agregados correspondente à respectiva classe de tamanho (peneira) (SALTON, 2012).

Foram calculados o diâmetro médio ponderado (DMP) de acordo com a equação 4 proposta por Kemper and Chepil, (1965); Palmeira et al., (1999), o índice de estabilidade de agregados (IEA) conforme proposto por Freire e Piedade Jr. (1979) na equação 5 e o AGRI somatório dos percentuais, a 2,00 mm, conforme a equação 6 proposta por Wendling et al., (2005).

$$DMP = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i) \quad (4)$$

em que, w_i é a massa de cada classe de agregados em gramas; x_i é o diâmetro médio das classes expressa em mm;

$$IEA = [(M_s - w_{p0,053} - \text{areia}) / (M_S - \text{areia})] \times 100 \quad (5)$$

onde, M_s é a massa seca da amostra em gramas; $w_{p0,053}$ é a massa dos agregados da classe < 0,053 mm em gramas.

$$AGRI = w_{i > 2} \times 100 \quad (6)$$

onde, $w_{i > 2}$ é a proporção de agregados > 2,00 mm.

4.2.3. Análises estatísticas

Foram realizados os ajustes das curvas de retenção de água no solo e depois confeccionados os gráficos, assim como análise de correlação de Pearson entre os atributos físicos do solo. Estas análises, ajustes e confecção de gráficos foram realizadas pelos softwares Microsoft office Excel 2013, Programa R e Origin 8.0.

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.3.1. Propriedades físicas do solo

Há um predomínio da fração silte na camada superficial do solo, variando entre 510 g kg⁻¹ a 609 g kg⁻¹ seguido da fração argila e com menor contribuição da fração areia (Tabela 1). As três áreas tiveram sua textura classificada como Franco-siltosa de acordo com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS). Tal classe textural foi encontrada por Guimarães et al. (2013) para os Gleissolos das várzeas do rio Solimões.

Tabela 1: Caracterização granulométrica e matéria orgânica do solo na camada de 0-10 cm em três áreas de várzea sob açáí nativo

Áreas	g kg ⁻¹					Classe Textural
	Areia	Silte	Argila	Silte/Argila	MO	
F _M	223.08	510.47	266.45	1.93	128.73	Franco siltoso

F _I	182.68	606.31	211.01	3.10	81.65	Franco siltoso
F _C	154.16	609.44	236.40	2.66	159.80	Franco siltoso

F_M: várzea próxima da margem; F_I: várzea intermediária; F_C: várzea central;

Contudo, o enquadramento destes solos na classe textural franco siltoso (Tabela 1) está relacionada com a carga de deposição sedimentar recente que essas áreas sofrem ao longo do tempo (LOPES et al., 2019).

Todos os índices de agregação utilizados foram elevados (Tabela 2) podendo ser explicado pelo que foi afirmado por Farias, (2012) em que o solo da várzea que apresenta elevados teores de silte e umidade, facilita a adesão para que não haja destorroamento.

Tabela 2: Razões de vazios equivalentes aos poros residual (e_{residual}), textural (e_{textural}), estrutural ($e_{\text{estrutural}}$), porosidade total (Pt), densidade do solo (Ds), densidade de partícula (Dp), diâmetro médio ponderado (DMP), índice de estabilidade de agregados (IEA) e percentuais de agregados estáveis > 2 mm (AGRI) de solos sob açaiçais nativos

Áreas	e_{residual}	e_{textural}	$e_{\text{estrutural}}$	Pt	Ds	Dp	DMP	IEA	AGRI
	cm ³ cm ⁻³			g cm ⁻³		mm	%		
F _M	0.10	1.06	0.49	0.66	0.71	2.10	5.04	95.40	83.65
F _I	0.08	1.07	0.31	0.62	0.82	2.16	5.19	87.60	93.45
F _C	0.20	1.30	0.50	0.65	0.70	2.00	5.04	94.99	81.12

F_M: várzea próxima da margem; F_I: várzea intermediária; F_C: várzea central.

Os valores elevados (Tabela 2) indicam alta estabilidade dos agregados o que pode ser atribuído aos compostos cimentantes da M.O que promovem a estabilização da estrutura do solo (MAIA et al., 2007) ou ao ciclo de umedecimento e secagem que favorece a formação de agregados maiores na camada superficial dos solos (HORN & DEXTER, 1988). Já que esses ciclos levam à desidratação de ligantes orgânicos e inorgânicos do solo, que proporcionam a formação de agregados de maior tamanho (HORN, 1990).

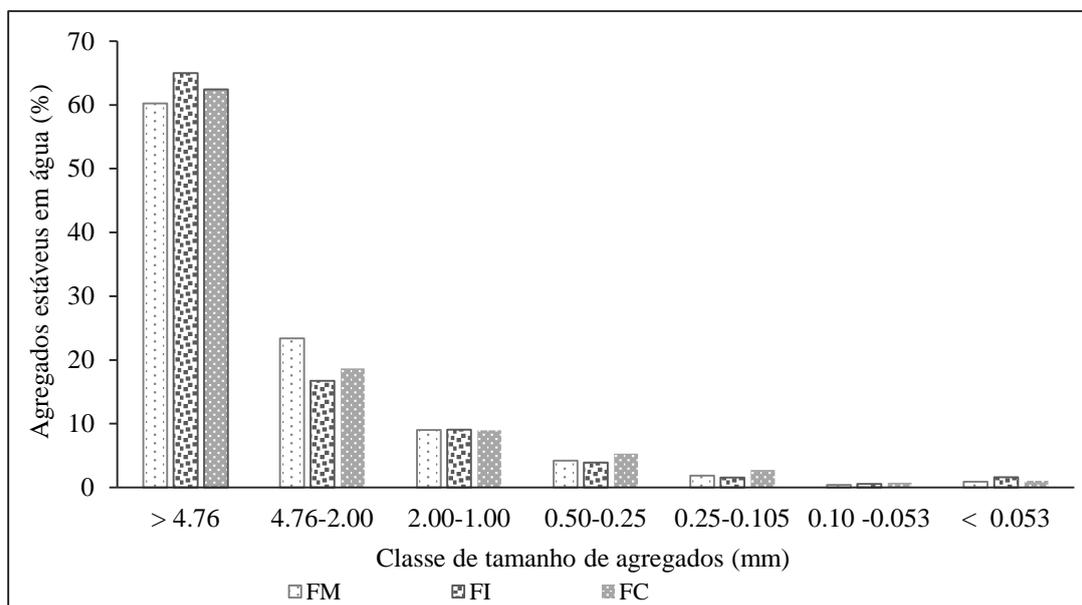
Os valores de densidade do solo e de partículas apresentam-se baixos (Tabela 2) mas segundo Guimarães et al. (2013) esses valores são normais quando relacionados a solos com pouco desenvolvimento e com altos teores de matéria orgânica (MO) e carbono orgânico (CO) nas camadas superficiais. Assis & Lanças (2005) também obtiveram menores valores de densidade na camada superficial sob mata nativa sendo justificado pelo maior teor de matéria orgânica que favorece melhor estruturação e, por conseguinte, redução na Ds.

A manutenção das árvores com sistemas radiculares profundos além de contribuir com a estruturação do solo evitam o processo erosivo conhecido como “Terras caídas” gerado com o desmatamento dessas áreas para o monocultivo do açaí que vem crescendo na região do baixo Tocantins (FALESI E SILVA, 1999).

O $e_{\text{textural}} + e_{\text{residual}}$ estão relacionados com a microporosidade e foram maior que o $e_{\text{estrutural}}$ mostrando, que a maior parte da PT do solo das três áreas é composta por microporos (Tabela 2). A PT do solo das três áreas foram superiores a 50% e conforme cita BRADY; WEIL, (2008) um solo é considerado com estrutura ideal, com boas condições para o crescimento das plantas, quando apresenta aproximadamente 50% do volume do solo ocupado por poros. Esse volume de espaço poroso também pode ser justificado pelos poros formados entre as partículas de silte que são menores, mas são mais numerosos (Pinto, 2014). Sendo assim, o solo encontrado nas três áreas de várzea apresentaram uma boa estruturação ($PT > 50\%$). Essa afirmação pode ser confirmada com os valores de agregação obtidos e que são apresentados na Figura 9.

Observou-se que os valores dos agregados maiores que 4,76 mm, tiveram maior distribuição nas várzeas intermediária (F_I) e central (F_C), com 66,3 e 62,4%, respectivamente, e a várzea próxima a margem (F_M) obteve 60% (Figura 9), estes resultados mostram que as três áreas de várzea possuem boa estrutura.

Figura 9: Distribuição de agregados estáveis em água e classes de tamanho de agregados do solo (0-10 cm) de três áreas de várzea sob açaizal nativo



F_M : várzea próxima da margem; F_I : várzea intermediária; F_C : várzea central

Para Dexter (1988) os solos com agregados estáveis de maior tamanho são considerados solos estruturalmente melhores e mais resistentes ao processo erosivo, pois a agregação facilita a aeração do solo, as trocas gasosas e a infiltração de água, em função do aumento da macroporosidade, além de garantirem a microporosidade e a retenção de água dentro dos agregados. Essa agregação está relacionada ao teor de carbono no solo e concorda com o estudo

de Xiang et al. (2015) e Liu et al. (2020) em solos de florestas nativas comprovaram a influência do carbono orgânico total no predomínio de macroagregados > 2mm.

Os parâmetros das curvas de retenção de água foram ajustados pelo modelo duplo exponencial (DEXTER et al., 2008), apresentando $R^2 \geq 0,89$ para F_M , F_I e F_C (Tabela 3) e foram significativamente diferentes de zero com $p < 0,05$.

Tabela 3: Valores dos parâmetros ajustados pela equação duplo exponencial de retenção de água, seguido do R^2 e diâmetro efetivo textural (δ_1) e estrutural (δ_2) obtidos dos solos sob açazeiros nativos em três áreas de várzea

Áreas	C	A ₁	h ₁	A ₂	h ₂	R ²	δ_1	δ_2
	g g ⁻¹		hPa	g g ⁻¹	hPa		μm	
F _M	0.146	1.495	3739.00	0.694	125.7	0.89	0.80	23.87
F _I	0.100	1.311	3464.00	0.379	117.7	0.91	0.87	25.49
F _C	0.291	1.862	1853.00	0.711	81.17	0.91	1.62	36.96

F_M: várzea próxima da margem; F_I: várzea intermediária; F_C: várzea central.

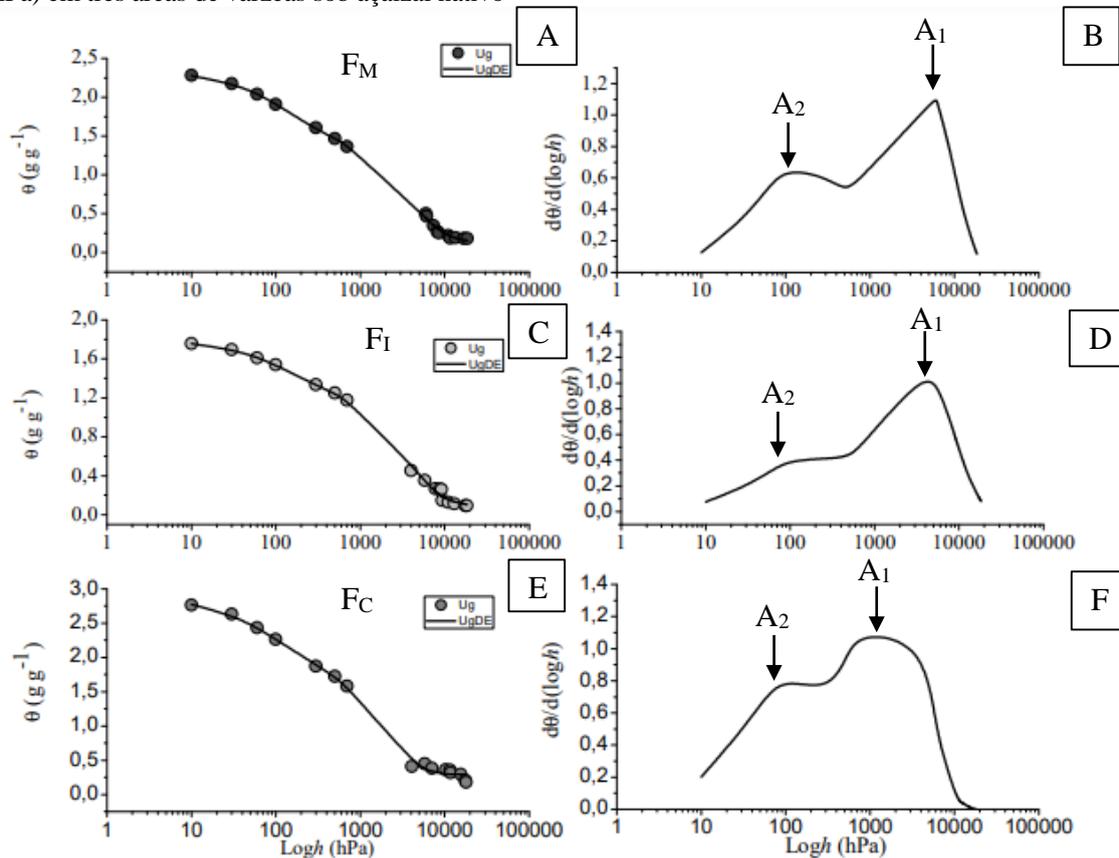
Os parâmetros da equação duplo exponencial estão associados a distribuição de poros sendo o parâmetro C equivale a água residual e os parâmetros A₁ e A₂ correspondem, respectivamente, a porosidade textural e estrutural do solo. O solo da várzea central (F_C) foi o que apresentou maiores resultados tanto de água residual quanto de porosidade textural e estrutural, pois, segundo Ding et al., (2016) quanto maior o teor de silte, maior o parâmetro A₁. Na Tabela 3 o conteúdo de água residual (C) pode ter sido influenciado pelos teores de argila e os poros estruturais (A₂) pela presença de areia nos solos das áreas de F_M e F_C em que se observa os maiores valores dos parâmetros confirmando o que afirmam os estudos feitos por Dexter et al. (2012) e Ding et al. (2016).

Com isso, pode inferir que no período menos chuvoso a água que fica retida no solo pode abastecer os açazeiros, garantido a produção nesse período, pois conforme afirmam Souza & Jardim (2007) a disponibilidade de água no solo é um fator importante que favorece a sobrevivência do açazeiro principalmente em locais onde o período de estiagem é prolongado. Já que estima-se que o açazeiro necessita em média de 120 L de água por touceira dia, consumindo o equivalente a 48.000 litros de água por dia em um hectare (VIANA, 2018).

O solo das três áreas de várzea apresentaram diâmetro efetivo textural entre 0,1 e 5 μm (ultramicroporos) (Tabela 3). O predomínio de ultramicroporos contribui para a manutenção de serviços ecossistêmicos através da mitigação da rotação do carbono, permitindo maior estoque de carbono no solo (SIMONETTI et al., 2017). Como também é afirmado no estudo de Piccoli et al. (2017) em solos siltosos que o CO favoreceu a formação de poros <5 μm relacionado ao acúmulo de carbono no solo.

A figura 10 apresenta as curvas de retenção de água e da distribuição do tamanho de poros ajustadas pelo modelo duplo exponencial de Dexter et al. (2008).

Figura 10: Umidade do solo (θ) e distribuição do tamanho dos poros ($d\theta/d(\log h)$) em função do potencial matricial (hPa) em três áreas de várzeas sob açaizal nativo



Ug: umidade gravimétrica; UgDE: umidade gravimétrica ajustada pelo modelo Dexter; A₁ e A₂ correspondem, respectivamente, a porosidade textural e estrutural do solo. F_M: várzea próxima da margem; F_I: várzea intermediária; F_C: várzea central.

A distribuição bimodal dos poros das três áreas de várzeas é mostrada na Figura 10 (B, D e F). As curvas correspondem à distribuição do tamanho dos poros derivada dos dados de retenção de água e mostra que, em geral, os picos correspondentes à porosidade textural (A₁) foram superiores aos picos da porosidade estrutural (A₂).

A figura 10 (A, C e E) demonstra os altos valores da umidade gravimétrica desses solos nos potenciais iniciais e uma leve queda nos potenciais mais secos da curva. Uma possível explicação para esse comportamento é a maior proporção de microporos (poros texturais) e menor de macroporos. Assim, os poros grandes perdem a água retida por capilaridade a potenciais elevados, enquanto que os pequenos, retêm água até potenciais baixos adsorvida no sistema coloidal, ocasionando uma alta tensão caso existam em maior proporção (Hillel, 1971) ou como afirmaram Dexter et al. (2012) esse fenômeno estar relacionado ao corte hidráulico,

que descreve o ponto em que a água residual do solo permanece no solo após o espaço de poros texturais conectado (drenável) ser esvaziado pelo fluxo convectivo darciano, onde a água se move lentamente e principalmente através da difusão na fase de vapor. Através da Figura 10 nota-se que a retenção de água no solo das várzeas está mais relacionada com a textura do solo do que com o arranjo das partículas, pois nos potenciais mais secos da curva têm-se uma retenção de água de 0,100 à 0,500 g.g⁻¹.

4.4. CONCLUSÕES

O solo das três áreas de várzea encontram-se com características físicas estruturais em condições naturais o que garante a sustentação das plantas.

O modelo duplo-exponencial utilizado para o ajuste da curva característica de retenção de água no solo evidenciou a diferenciação dos poros estruturais e texturais do solo das três áreas de várzea. Sendo que todas as áreas apresentaram maior espaço poroso textural sendo favorável para maior retenção de água no solo nos períodos de menos chuvas garantindo o suprimento de água necessário para os açaiçais.

4.5.REFERÊNCIAS

- ASSIS, R.L. & LANÇAS, K.P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:515-522, 2005.
- BLAKE, G.R., HARTAGE, K.H. Bulk density. In: Klute, A. (Ed.), *Method of Soil Analysis*, Part I. Physical and Mineralogical Methods: Agronomy Monograph no. 9, second ed., pp. 363–375, 1986.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14. ed. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson-Prentice Hall, 2008. cap. 05, p. 173-217
- CESÁRIO, F. V., DONAGEMMA, G.K., RUIZ, H.A., BALIEIRO, F. DE C. **Estabilidade de agregados em água: análise crítica e padronização**. Embrapa Solos. (Embrapa Solos. Boi. Pesqui. e desenvolvimento, 57) 1-7. 2010.
- DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. *Soil & Tillage Research*. v.11, n.6, p.199- 238. 1988.
- DEXTER, A. R. CZYŻ E. A.; RICHARD, G. Equilibrium, non-equilibrium and residual water: Consequences for soil water retention. *Geoderma*, v. 177–178, p. 63–71, 2012
- DEXTER, A. R. et al. A user-friendly water retention function that takes account of the textural and structural pore spaces in soil. *Geoderma*, v. 143, p. 243-253, 2008.
- DING, D. et al. Using the double-exponential water retention equation to determine how soil pore-size distribution is linked to soil texture. *Soil and Tillage Research*, v. 156, p. 119–130, 2016.

FALESI, I.C.; SILVA, B.N.R. da. *Ecossistemas de várzeas da região do Baixo Amazonas. Embrapa Amazônia Oriental*, Belém, PA. 75 pp. 1999.

FARIAS, J. E. S. Manejo de açazais, riqueza florística e uso tradicional de espécies de várzeas do Estuário Amazônico. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Amapá. 102p. Macapá, 2012.

FARIAS NETO, J. T.; OLIVEIRA, M. S. P.; RESENDE, M. D. V.; RODRIGUES, J. C.. Parâmetros genéticos e ganhos com a seleção de progênes de Euterpe oleracea na fase juvenil. *Cerne*, Lavras, v.18, n.3, p.515-521, 2012.

FREIRE, W. J.; PIEDADE JR., C. O módulo de finura dos agregados do solo como índice de estabilidade estrutural. *Engenharia Agrícola*, v.3, n.2, p.29-36, 1979.

GEE, G.W., AND D. OR. 2002. Particle-size analysis. p. 255–293. In J.H. Dane, and G.C. Topp (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 4. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI.

GUIMARÃES, S. T. et al. Caracterização e classificação de Gleissolos da várzea do Rio Solimões (Manacapuru e Iranduba), Amazonas, Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, p. 317-326, 2013.

HILLEL, D. *Soil and water. Physical principles and processes*. New York, Academic Press, 288.1971.

HORN, R. Aggregate characterization as compared to soil bulk properties. **Soil and Tillage Research**, v.17, p.265-289, 1990.

HORN, R.; DEXTER, R.A. Dynamics of soil aggregation in na irrigated desert loess. **Soil and Tillage Research**, v.13, p.253-266, 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Potencial de agressividades climática na Amazônia Legal*. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_regionais/sociedade_e_economia/integrado_zee_amazonia_legal/Potencial_de_Agressividade_Climatica.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2020

JUNK, W.J.; BAYLEY, P.B.; SPARKS, R.E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Journal of Fishers and Aquatic*, 106: 110-127.1989.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: Black,C.A.; Evans, D. D.; White, J. L.; Ensminger, L. E.; Clark, F. E. (ed.). *Methods of soil analysis: physical and mineralogical propeties, including statistics of measurement and sampling*. Part 1. Madison: American Society of Agronomy, 1965. 2.ed. p.499-510.

LIMA, H. V. de; SILVA, A. P. da. Mesa de tensão com areia: procedimentos para montagem e validação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 2209-2214, 2008.

LIU, H. et al. Glomalin-related soil protein affects soil aggregation and recovery of soil nutrient following natural revegetation on the Loess Plateau. *Geoderma*, v. 357, 2020.

LOPES, M. R.; NOGUEIRA, A.V.M.; LOPES, B.M.; XAVIER, B.H.M.; COELHO, N.C.O.; MATA, E.L.O.; LOPES, E.L.N. Caracterização físico-química de gleissolo de várzea da região do baixo Tocantins, PA. *Revista Craibeiras de Agroecologia*, v. 4, Suplemento, e8953, 2019.

- MAIA, S. M. F. et al. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. *Agroforest Syst.*, v. 71, p. 127–138, 2007.
- MOURÃO, L. História e Natureza: Do Açaí ao Palmito. *Revista Territórios e Fronteiras*, v. 3, n. 2, p. 74–96, 2010.
- NOGUEIRA, O. L., FIGUEIRÊDO, F.J. C; MULLER, A.A. **Açaí**. Embrapa Amazônia Oriental. Belém, Pará. 137p. (Sistemas de Produção, 4), 2005.
- PALMEIRA, P.R.T.; PAULETTO, E.A.; TEIXEIRA, C.F.A.; GOMES, A.S.; SILVA, J.B. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.189-195, 1999.
- PICCOLI I. et al. Conservation agriculture had a poor impact on the soil porosity of veneto low-lying plain silty soils after a 5-year transition period. *Land Degrad. Develop.* v. 28, p. 2039-2050, 2017.
- PINTO, E. R. Solos, hidrologia e estrutura populacional de pracuibeiras em florestas de várzea do estuário amazônico. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Amapá. 69p. Macapá, 2014.
- SALTON, J. C. et al. Determinação da agregação do solo - Metodologia em uso na Embrapa Agropecuária Oeste. *Comunicado técnico*, n. 3, 2012.
- SILVA, R. Embrapa disponibiliza Sistema de Produção do Açaizeiro para Amazônia Ocidental. Brasília: Embrapa, 2019.
- SIMONETTI, G. et al. Soil porosity in physically separated fractions and its role in SOC protection. *J Soils Sediments*, v. 17, p. 70-84, 2017.
- TEIXEIRA et al. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 3° ed. Manual de métodos de análise de solo – Parte I: Capítulo 9 - Porosidade, p. 82-94, 2017b.
- VIANA, L. F. *Análise econômica do cultivo de açaizeiro irrigado no Nordeste Paraense*. Dissertação de Mestrado em Ciências Ambientais - Universidade do Estado do Pará, Belém, p.74, 2018.
- WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, p.487-494, 2005.
- XIANG, H.; ZHANG, L.; WEN, D Change of Soil Carbon Fractions and Water-Stable Aggregates in a Forest Ecosystem Succession in South China. *Forests*, v. 6, p. 2703-2718, 2015.
- YAMAGUCHI, K. K. L.; PEREIRA, L. F. R.; LAMARÃO, C. V.; LIMA, E. S.; VEIGAJUNIOR, V. F. Amazon açaí: chemistry and biological activities: Review, *Food Chemistry*, v.79, p:37-151, 2015.
- YIN, D.; CHEN, S.; CHEN, F.; GUAN, Z.; FANG, W. Morphological and physiological responses of two chrysanthemum cultivars differing in their tolerance to waterlogging. *Environmental and Experimental Botany*, Amsterdam, v.67, n.1, p.87-93, 2010.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *Journal American Soe. Agron.* 28, 337-351. 1936.

5. CAPÍTULO 2 – ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO E QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO SOB AÇAIZAIS NATIVOS NA AMAZÔNIA ORIENTAL

5.1. INTRODUÇÃO

O açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma palmeira de origem Amazônica e se desenvolve em diferentes ambientes como várzea, igapó e terra firme, pois apresenta condições adaptativas ao meio em que se encontra. No Estado do Pará corresponde a sua principal área de dispersão os ambientes de várzea e igapó onde ele se concentra compondo ecossistemas de floresta natural ou em forma de maciços conhecidos como açaiçais (NOGUEIRA, 2005).

Os ambientes de várzeas passaram a ser progressivamente mais manejados pelos agricultores devido o fruto ser um importante componente da alimentação das populações extrativistas e dos centros urbanos como também ao reconhecimento nacional e internacional em consequência da rápida expansão do mercado (BRONDIZIO, 2008; CIALDELLA; NAVEGANTES-ALVES, 2014). Estes ambientes possuem solos hidromórficos que guardam estreita relação com a natureza dos sedimentos depositados, consequência do material de origem e dos mecanismos de deposição/sedimentação (CORINGA et al., 2012).

Estes solos caracterizam-se por apresentar pH ácido, alto conteúdo de carbono orgânico, potássio (CORINGA et al., 2012; MAFRA et al., 2007; MAGNAGO et al., 2010) e classificação textural franco siltosa e franco argilo siltosa (LOPES et al., 2006). A mineralização acelerada da matéria orgânica pelos microrganismos é influenciada pelo clima tropical úmido expressivo na região, porém o aumento da biomassa microbiana devido à diversidade do material que compõe a serapilheira (QIAN et al., 2018).

A antropização das áreas naturais compromete a manutenção dos ecossistemas, pois os ecossistemas naturais vegetados são sustentados pela interação entre a cobertura vegetal e os atributos do solo (CARDOSO et al., 2011). Por isso, o manejo intensivo de açaiçais nas áreas nativas tem levado ao declínio da floresta nativa e a insustentabilidade dos recursos naturais, resultando na simplificação dos ecossistemas de várzea através da redução da biodiversidade. Tal condição pode gerar desequilíbrios e instabilidade ecológica, a mudança no uso da terra e a substituição da vegetação nativa por uma única espécie reduz a biodiversidade do local e degrada o solo, provocando prejuízos tanto para o homem quanto para floresta (JARDIM e VIEIRA, 2001).

No entanto, o manejo adequado das áreas várzeas sob açazal nativo depende da realização de pesquisas que possam identificar e avaliar os diversos fenômenos químicos e biológicos que ocorrem nestas áreas, assim como os benefícios e as limitações que podem gerar e assim possibilitar o melhor aproveitamento destas pelo produtor de açai (MATTAR; VIEIRA; SILVA, 2002). Com isso este estudo tem por objetivo caracterizar os atributos químicos e biológicos de solos hidromórficos e a qualidade química da água do rio em ecossistema várzea sob açazal nativo.

5.2.MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo foi a Ilha de Saracá (Figura 6), localizada no município de Limoeiro do Ajurú, situado na mesorregião Nordeste do estado do Pará, banhada pelo rio Tocantins (1° 53' 53" S; 49° 23' 27" O). O clima do município segundo a classificação climática de Köppen é do tipo Af com precipitação média anual de 2250 a 3000 mm. A ocorrência, frequência e distribuição da chuva através do índice pluviométrico apresentam duas estações regionalmente conhecidas como verão (mais chuvosa) que engloba os meses de dezembro a maio e o inverno (menos chuvosa) sendo os meses de junho a novembro (Figura 7) (CORDEIRO et al., 2017).

Os solos encontrados nesse município são classificados como Neossolo Quartzarênico e Gleissolo Háptico, este último em maior quantidade (IBGE, 2014). O solo encontrado na Ilha Saracá é classificado como Gleissolo Háptico. A ocupação mais tradicional encontrada neste município é caracterizada como ribeirinha, geralmente está envolvida em pluriatividades baseadas principalmente no extrativismo vegetal, na pesca e em atividades agrícolas de pequena escala (BASTOS et al., 2010).

Entende-se por várzea que estas são florestas inundáveis por águas barrentas sendo que o nível do rio varia de acordo com as marés oceânicas, assim a floresta é alagada duas vezes por dia. Foram selecionadas três áreas de várzea dentro da ilha Saracá classificadas de acordo com a disposição em relação ao Rio Tocantins. A escolha destas áreas foi devido ao local onde elas se encontram, isto é, a distância delas em relação ao rio que banha a Ilha. A várzea próxima da margem (F_M) é aquela que fica a 100 m do nível do rio sendo a mais próxima de sua margem e compreende uma vasta floresta de espécies madeireiras e frutíferas. A várzea intermediária (F_I) se localiza a 300 m do nível do rio e também possui uma vasta floresta composta por árvores madeireiras e frutíferas, por último a várzea central (F_c) que se encontra a 800 m distante do nível do rio e também compreende uma floresta com exuberantes espécies arbóreas madeireiras e frutíferas. Esta ilha foi selecionada devido a abundância de açazais nativos e pela manutenção

da floresta bem preservada. Este ambiente é representativo de áreas que servem como banco de germoplasma para seleção de indivíduos com alta produtividade para serem cultivados fora do seu ambiente natural.

As três áreas de várzeas sofre influência da maré. O processo de subida das águas denomina-se enchente da maré, com duração máxima de 6 horas, ao fim das quais ela atinge a máxima elevação chamada de Maré alta ou Preamar. Durante a preamar o movimento da maré cessa, por cerca de 7 minutos, e posteriormente inicia-se a vazante da maré (Figura 8), com duração também de 6 horas, quando a água atinge o ponto máximo de abaixamento chamado de Maré Baixa ou Baixamar, na qual a maré permanece parada por 7 minutos (JUNK, 1989). Nos momentos de preamar e baixamar, é depositada a maior quantidade de sedimentos no solo. Os mais pesados se depositam nas margens dos rios e os mais leves no interior da floresta (JUNK, 1989).

As coletas de amostras de solo foram realizadas em duas épocas do ano período mais chuvoso (1), e menos chuvoso (2). A primeira coleta foi realizada no mês de maio de 2019 (mais chuvoso) e a segunda no mês de agosto de 2019 (menos chuvoso). Os pontos de coleta foram georreferenciados com auxílio de GPS (*Global Position System*) geodésico (Figura 6).

5.2.2. Propriedades químicas do solo

Para a caracterização das propriedades químicas do solo foram coletadas, em cada área, 10 amostras de solo com estruturas deformadas, respectivamente, na profundidade de 0-10 cm. As amostras deformadas foram coletadas nos dois períodos, sendo que a coleta no período mais chuvoso foi realizada no mês que as chuvas e as enchentes são menos intensas. As três áreas possuem uma floresta bastante adensadas e sem manejo que dificulta a amostragem da área devido a uma grande presença de raízes e com isso foi realizada a amostragem somente na camada de 0-10 cm. Após a coleta e transporte ao laboratório as amostras deformadas foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm para homogeneização.

A fertilidade do solo foi avaliada seguindo os procedimentos descritos em Embrapa (2011): pH em água na proporção solo: solução (1:2,5); Fósforo (P) e potássio (K), extraídos por Mehlich⁻¹ (0,0125 mol L⁻¹ de H₂SO₄ + 0,05 mol L⁻¹ de HCl), sendo o P determinado por colorimetria e o K por fotometria de chama; alumínio (Al), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) extraídos com KCl 1 mol L⁻¹, sendo o Al determinado por titulação (volumetria de neutralização), enquanto que Ca e Mg foi determinados por complexometria com EDTA; H+Al extraído com solução de acetato de cálcio 1 mol L⁻¹ a pH 7,0 e determinados por titulação.

Com base nos resultados foram calculadas a soma de bases ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$), capacidade de troca de cátions (T) ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + (\text{H}^+ + \text{Al}^{3+})$), capacidade de troca de cátions efetiva (t) ($\text{SB} + \text{Al}^{3+}$), a saturação por bases ($\text{V}\% = \text{SB} \times 100 / \text{CTCpH7}$) e a saturação por alumínio ($\text{m}\% = \text{Al} \times 100 / \text{t}$).

O carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método Walkley-Black (1934), baseado no princípio da oxidação da matéria orgânica, com dicromato de potássio em meio sulfúrico. Para quantificar o carbono será transferido 1,2 g de TFSA para um Erlenmeyer de 125 mL, adição de 5 mL de solução de dicromato de potássio $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ e 20 mL de ácido sulfúrico concentrado. A quantificação do CO foi obtida a partir da titulação do dicromato remanescente com solução de sulfato ferroso amoniacal – $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2 (\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ $0,25 \text{ mol L}^{-1}$. O CO foi calculado a partir da equação 7:

$$\text{CO} = (\text{Vpb} - \text{Vam}) \times \text{NSFA} \times 12 \times \frac{1000}{\text{P}_{\text{solo}} \times 4000} \quad (7)$$

onde: CO é a quantidade de carbono orgânico, em g kg^{-1} de solo; *Vpb* é volume da solução de sulfato ferroso amoniacal, em ml, gasto na titulação da prova em branco; *Vam* é volume da solução de sulfato ferroso amoniacal, em ml, gasto na titulação da amostra; NSFA é normalidade da solução de sulfato ferroso amoniacal corrigido, em mol L^{-1} ; 12 é a massa atômica do carbono; 1000 é o fator de transformação de g para kg; *P solo* é o peso da amostra de TFSA, em g; 4000 é o fator correspondente ao peso de miliequivalente do carbono, em g.

Os micronutrientes ferro (Fe) e manganês (Mn) também foram determinados seguindo a metodologia proposta pela Embrapa 2011 em que pesou-se 5 g de solo em Erlenmeyer de 50 mL, logo após foi adicionado 25 mL de solução extratora de Mehlich⁻¹ (HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ + H_2SO_4 $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$) e agitou por 5 minutos em agitador mecânico horizontal a 220 rpm. Após a agitação foi filtrado imediatamente a suspensão. O filtrado foi separado para determinar os micronutrientes por espectrometria de absorção atômica de chama no laboratório de análises químicas do Museu Emílio Goeldi.

O estoque de carbono (EC) para a camada de 0-10 cm foi calculado de acordo com Veldkamp (1994) conforme a equação 8:

$$\text{EC} = (\text{CO} \times \text{Ds} \times \text{e}) \div 10 \quad (8)$$

Onde: EC é o estoque de C orgânico a ser determinado, sua unidade correspondente é Mg ha^{-1} . O parâmetro “CO” corresponde ao teor de carbono orgânico total na profundidade amostrada

(g.kg⁻¹), o parâmetro “e” corresponde à espessura da camada considerada (cm) e Ds é a densidade do solo.

5.2.3. Propriedades biológicas do solo

As amostras deformadas também foram utilizadas para determinação dos indicadores microbiológicos do solo.

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi determinado pelo método da irradiação-extração com determinadas adaptações da metodologia de Islam e Weil (1998) e Brookes, et al. (1982). De cada amostra de solo foram pesados 10 g para a análise irradiada e não irradiada, em triplicata. As análises irradiadas foram submetidas à radiação eletromagnética. O tempo de exposição das amostras irradiadas com base na potência do forno microondas foi de 45 segundos. Após a radiação foram adicionados 40 ml de solução extratora, K₂SO₄ 0,5 M (VANCE et al., 1987) em todas as amostras. Após a extração as amostras ficaram em repouso por 30 minutos e foram filtradas em filtro de papel. Da solução filtrada retirou-se uma alíquota de 10 ml para a determinação do C orgânico e foi adicionado 2 ml K₂Cr₂O₇ 0,066M e 10 ml ácido sulfúrico. Após esfriar adicionou-se 50 ml água destilada e três gotas de ferroin e procedeu a titulação com sulfato ferroso amoniacal. Foram feitas seis provas em branco, três contendo K₂SO₄ 0,5 M e todos os demais reagentes pra titulação e três apenas com o K₂SO₄. O CBM foi obtido a partir das equações seguintes:

$$CiNi = \frac{(Vb - Vam) * (Molaridade\ do\ sulfato\ ferroso) * (3) * (1000) * (Vex)}{(Vex) * (Peso\ do\ solo)} \quad (9)$$

onde, Vb é o volume da prova em branco em ml; Vam é o volume de sulfato ferroso consumido na amostra em ml; 3 é a relação entre o número de mols; 1000 é o fator de correção da umidade; Vex é o volume do extrator; Psolo é o Peso do solo.

Para expressar a fração do carbono da biomassa microbiana do solo recuperado após o processo de extração-irradiação utiliza-se o valor RC de 0,33 (FERREIRA; et al.,1999).

$$CBM = (Ci - Cni) / RC \quad (10)$$

onde, CBM é o Carbono da biomassa microbiana; Ci representa as amostras irradiadas; Cni representa as amostras não irradiadas; RC é um valor de referência (0,33).

A atividade microbiana foi avaliada pela determinação da respiração basal (C-CO₂) em 30g de solo, pela metodologia de Gregorich, et al. (1990), a partir da quantificação do CO₂ liberado no processo de respiração microbiana durante dez dias de incubação (28° C). A

incubação das amostras foi feita em um frasco hermeticamente fechado (capacidade de 2 L), onde ficou dois Beckers de 50 ml, um contendo o solo, e outro contendo 10 ml de NaOH, acomodadas em local sem luminosidade. Após o período de incubação retirou-se 4 ml do NaOH e adicionou-se 4 ml de BaCl₂ e cinco gotas de fenolftaleína. A prova em branco foi composta apenas de 10 ml de NaOH 0,5 M e o fator de correção composto por 10 ml de NaCO₃ a 0,5 M com três gotas de vermelho de metila, titulado com HCl 0,5 M. O cálculo para a determinação da respiração basal foi feito com base na equação 11:

$$C - CO_2 = \left(\frac{V_b}{V_a} \right) * N * f * V / At \quad (11)$$

onde, C-CO₂ é carbono oriundo da respiração basal do solo (mg de C-CO₂ kg⁻¹ solo hora⁻¹); V_b é o volume de HCl gasto na titulação da prova em branco (ml); V_a é o volume gasto na titulação da amostra (ml); N é a normalidade do HCl (0,5); f corresponde ao fator de correção do HCl 0,5 M; V é o volume de NaOH 0,5 M usado na captura de CO₂ (ml); At é a alíquota que foi titulada (ml).

Os resultados de C-CO₂ e CBM foram utilizados para calcular o quociente metabólico (*q*CO₂), que representa a quantidade de C-CO₂ liberada em determinado tempo, por unidade de C microbiano, conforme BALOTA, COLOZZI-FILHO e ANDRADE (1998). O cálculo de *q*CO₂ é determinado pela equação 12:

$$qCO_2 = \frac{C-CO_2}{CBM} \quad (12)$$

onde, C-CO₂ é carbono oriundo da respiração basal do solo (mg de C-CO₂ kg⁻¹ solo hora⁻¹) e CBM é o Carbono da biomassa microbiana.

E o quociente microbiano (*q*MIC) foi obtido pela seguinte equação 13, com a utilização do carbono orgânico (CO) também conforme BALOTA, COLOZZI-FILHO e ANDRADE (1998):

$$qMIC = \frac{CBM}{CO} \cdot 100 \quad (13)$$

onde, CBM é o Carbono da biomassa microbiana e CO é o carbono orgânico do solo.

5.2.4. Propriedades químicas da água

A água do rio foi coletada nas três áreas de várzeas (F_M, F_I e F_C) com três repetições cada nos dois períodos menos chuvoso (novembro/2019) e mais chuvoso (Janeiro/2020) (n=18) em garrafas de polipropileno com volume de 1000 mL. A coleta das amostras de água foram do tipo superficial e realizadas quando o rio estava na enchente. No local da coleta foram

medidos temperatura, pH e condutividade elétrica da água e depois armazenadas em caixa térmica refrigerada e encaminhadas para o laboratório do Instituto Evandro Chagas. Após o encaminhamento ao Evandro Chagas foram realizadas as análises químicas (cátions e ânions) na água do rio no laboratório de Espectrofotometria II utilizando-se o método Standard methods for the examination of water and waste water (APHA, 2017).

5.2.5. Análises estatísticas

Os dados de química do solo e da água nos dois períodos (chuvoso e menos chuvoso) foram submetidos a análise de variância e as diferenças entre médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa R. Os dados dos atributos biológicos do solo foram submetidos a análise de estatística descritiva. A correlação de Pearson foi realizada através do programa R entre os atributos químicos e biológicos do solo no período mais chuvoso.

5.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.3.1. Propriedades químicas do solo e da água do rio

Na Tabela 4 o pH do solo no período menos chuvoso (2) é menor do que no período mais chuvoso (1). O delta pH dos solos é negativo ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} > \text{pH}_{\text{KCl}}$) indicando a predominância de cargas elétricas negativas, e portanto, a capacidade de troca catiônica é maior que a aniônica (TOMÉ JÚNIOR, 1997).

Tabela 4: Caracterização química do solo das várzeas estudadas sob açaizal nativo em dois períodos (n=20)

	pH		CO g kg ⁻¹	Al	H+Al cmol _c dm ⁻³	SB	T	V %	M
	H ₂ O	KCl							
F_M									
MÉDIA (1)	6.02 a	4.97 a	67.13 a	0.20 a	5.44 a	10.65 a	16.10 a	66.27 a	1.89 a
MÉDIA (2)	5.72 b	4.64 b	74.67 a	0.21 a	6.56 a	9.20 a	15.76 a	58.51 b	2.30 a
DP (1)	0.16	0.09	29.45	0.08	1.16	1.76	2.73	3.31	0.85
DP (2)	0.24	0.26	29.03	0.03	1.35	1.60	2.47	5.31	0.59
F_I									
MÉDIA (1)	6.07 a	4.96 a	47.88 a	0.18 b	4.14 a	8.87 a	13.02 a	67.85 a	2.03 b
MÉDIA (2)	5.95 a	4.62 b	47.36 a	0.25 a	4.33 a	8.15 a	12.49 a	65.00 a	3.16 a
DP (1)	0.24	0.23	13.86	0.06	0.34	1.56	1.78	3.21	0.71
DP (2)	0.25	0.31	14.78	0.05	0.71	1.48	1.86	5.29	1.28
F_C									
MÉDIA (1)	5.83 a	4.75 a	96.16 a	0.28 b	7.36 a	12.22 a	19.57 a	62.21 a	2.26 b
MÉDIA (2)	5.29 a	4.17 b	92.69 a	0.30 a	9.40 a	8.10 a	17.50 a	45.87 b	3.91 a
DP (1)	0.28	0.27	32.40	0.08	1.52	2.49	3.11	6.79	0.50
DP (2)	0.38	0.34	24.94	0.09	2.01	2.22	3.53	7.66	1.77

1: mais chuvoso; 2: menos chuvoso; F_M: várzea próxima da margem; F_I: várzea intermediária; F_C: várzea central; OC: carbono orgânico; Al: alumínio; H + Al: acidez potencial; SB: soma de bases; T: capacidade de troca catiônica; V: saturação da base; m: saturação por alumínio. As médias seguidas pela mesma letra na mesma área não diferem entre si pelo teste de Tukey, com significância de 5%.

Um fator que contribui para os baixos valores de pH é o processo de ferrólise que ocorre nos solos hidromórficos. Segundo Warmling et al. (2017) a ferrólise envolve a acidificação do solo e a destruição de argilas sob a influência de reações de troca envolvendo o Fe em ciclos alternados de oxidação (período seco) e redução (período de inundação), ou seja, na ausência de oxigênio, devido à saturação do solo com água e com a redução da matéria orgânica, os óxidos e hidróxidos de Fe³⁺ são reduzidos a Fe²⁺. No entanto, quando o ar entra em contato com o solo, no período seco subsequente, é iniciada uma fase de oxidação, na qual o Fe²⁺ trocável é oxidado em hidróxido insolúvel Fe³⁺.

Os teores de carbono orgânico na camada superficial do solo das três áreas de várzea apresentaram-se elevados (Tabela 4), pois de acordo com Farjado et al. (2009) além das enchentes periódicas que carregam e depositam sedimentos nesses ecossistemas há um grande volume de resíduos em decomposição em que esses ambientes ao sofrerem alagamento o processo de decomposição é desacelerado aumentando a concentração dos materiais no solo. Valores altos de carbono orgânico na superfície de solo inundado também foram reportados no estudo realizado por Ande et al., (2016).

Os valores de Al trocável foram baixos (< 1 cmol_c dm⁻³) segundo a classificação de Cochrane et al. (1982). A capacidade de troca catiônica apresentou-se alta no solo das três áreas e segundo Nascimento et al. (2013) pode estar relacionada aos altos teores de carbono orgânico. A saturação por alumínio aumentou (0,5 a 1%) nas três áreas no período com menos chuvas. Enquanto que a saturação por bases diminuiu (Tabela 4) em relação ao período das chuvas nas áreas próxima a margem (F_M) e central (F_C). Sendo que a saturação por base acima de 50 % em todos os solos atribui o caráter Eutrófico, com boa CTC, destacando segundo Tomé Junior. (1997) um solo com elevado potencial nutricional.

Os valores de cálcio e magnésio apresentaram-se elevados (5 a 6,7 cmol_c dm⁻³) (Tabela 5) destacando-se os elementos predominantes no complexo de troca, que notadamente contribuíram para os altos valores de soma (SB) e de saturação por bases (V) (Tabela 4). Valores altos de cálcio e magnésio em solos de várzea na Amazônia Central têm sido reportados também em outros trabalhos sobre Gleissolos (GUIMARÃES et al., 2013).

Tabela 5: Macronutrientes e micronutrientes do solo em áreas de várzeas sob cultivo de açaizal nativo

Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P _{extraível}	Fe	Mn
cmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³		
F _M					

MÉDIA (1)	5.86 a	4.70 a	0.09 b	11.07 a	75.41 b	47.31 a
MÉDIA (2)	6.49 a	2.52 b	0.19 a	7.62 a	143.69 a	38.01 b
DP (1)	0.99	0.93	0.04	1.70	15.98	9.15
DP (2)	1.28	0.44	0.07	5.26	23.76	8.72
F_I						
MÉDIA (1)	4.96 a	3.79 a	0.12 a	7.64 a	83.04 b	43.81 a
MÉDIA (2)	5.63 a	2.38 b	0.14 a	4.16 b	145.30 a	46.77 a
DP (1)	1.04	0.65	0.04	3.68	30.35	12.90
DP (2)	1.44	1.04	0.04	0.95	22.47	14.04
F_C						
MÉDIA (1)	6.68 a	5.39 a	0.15 a	8.79 a	69.42 b	48.42 a
MÉDIA (2)	6.05 a	1.90 b	0.15 a	15.56 a	143.51 a	21.72 b
DP (1)	1.58	1.78	0.05	6.05	20.30	12.79
DP (2)	1.58	0.69	0.05	8.82	55.30	11.34

1: mais chuvoso; 2: menos chuvoso; F_M: várzea próxima da margem; F_I: várzea intermediária; F_C: várzea central; Ca: cálcio; Mg: magnésio; K: potássio; P: fósforo; Fe: ferro; Mn: manganês. As médias seguidas pela mesma letra na mesma área não diferem entre si pelo teste de Tukey, com significância de 5%.

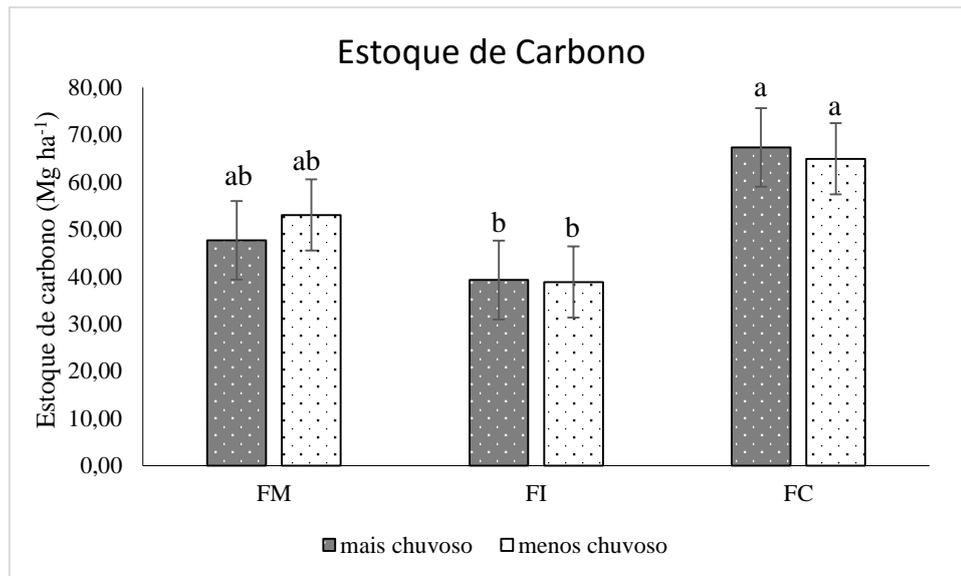
De acordo com Cravo et al. (2007) os valores de fósforo disponível variaram de baixo a médio (4 a 13,5 mg dm⁻³) no solo das três áreas e também no período pluviométrico assim como o potássio que obteve mais teores médios (0,11 a 0,20 cmol_c dm⁻³) do que teores baixos ($\leq 0,10$ cmol_c dm⁻³). Este macronutriente possui uma relação inversa com o fósforo, isto é, nos períodos com os valores de fósforo disponível baixos e médios os valores de potássio são médios e baixos respectivamente corroborando com o estudo realizado por Ribeiro; Santana e Tourinho, (2004) que também encontraram teores médio de potássio na várzea de Juaba no município de Cametá. Segundo Vieira et al. (1993), outro fator que também contribui para a baixa concentração de fósforo disponível é o processo de ferrólise que disponibiliza ao ambiente grande quantidade de óxidos de ferro e manganês e que pode inferir que o íon fosfato está ligado a eles. No estudo realizado por Ande et al., (2016) em solo inundado também foram encontrados baixos teores de fósforo.

Em relação aos altos valores de ferro e manganês (Tabela 5) no solo das várzeas, estudos confirmam o que foi afirmado por Lima et al. (2005) e Portugal (2009) ao analisarem a dinâmica de mobilização de nutrientes em solos de várzea na Amazônia Central submetidos à inundação e verificarem que tanto o manganês quanto o ferro aumentam com as enchentes dos rios. O que pode ser relacionado aos processos de oxirredução que ocorrem nesses solo, isto é, quando o solo está alagado o ferro se torna mais disponível na solução do solo devido as reações de oxirredução que transformam o ferro adsorvido nos coloides do solo em uma forma solúvel (Fe²⁺), e no período menos chuvoso retorna a sua composição inicial (Fe³⁺) e ocupa os coloides do solo dificultando a adsorção de outros nutrientes, como o fósforo por exemplo. Segundo o estudo de Ande et al., (2016) o conteúdo de Mn e Fe nos solos é adequado, pois acreditam que

os valores destes micronutrientes no solo variaram com os teores de argila do solo assim como com a condição de anaerobiose que ambiente apresenta e o pH ligeiramente ácido.

O estoque de carbono (Figura 11) não variou significativamente com relação ao período pluviométrico mas foi significativo entre as áreas de estudo em que foi maior na várzea central (F_C) do que em relação as outras áreas.

Figura 11: Estoque de carbono do solo sob açazeiro nativos de várzeas em dois períodos (mais chuvoso e menos chuvoso)



F_M: várzea próxima da margem; F_I: várzea intermediária; F_C: várzea central.

O estoque de carbono possui relação com o teor de carbono orgânico (Tabela 4) que foi considerado alto de acordo com Tomé Júnior, (1997), isto é, acima de 40 g kg⁻¹ e por isso promovem um ambiente propício para a manutenção da biota e qualidade dos atributos do solo e esse resultado corrobora com Van Noordwijk et al.(1997) de que, em regiões alagadas, o teor de carbono orgânico no solo aumenta em áreas com baixo pH e elevados teores de silte e argila. Assim como, Christiansen et al. (2012) acreditam que a disponibilidade reduzida de oxigênio no solo quando este encontra-se saturado dificulta a decomposição do material orgânico presente no solo e por isso seja o principal fator responsável pelo maior estoque de C nos solos hidromórficos. Independentemente da natureza de origem da matéria orgânica (M.O), os valores do estoque de carbono observados nos períodos sazonais da hidrologia característicos da região são devidos também ao fato de que a condição de anaerobiose favorece o acúmulo de M.O nos solos, pois as taxas de decomposição são reduzidas por conta da diminuição da atividade microbiana (ALEWELL et al., 2008).

A caracterização da água do rio está na Tabela 6 e mostra o comportamento dos teores de cátions e ânions nos dois períodos avaliados.

Tabela 6: Caracterização química da água do rio no período mais chuvoso e menos chuvoso em áreas de várzea sob açaí nativo

Áreas	Períodos	Temperatura	pH	Condutividade	Al	Fe	Mn
		°C		$\mu\text{s cm}^{-1}$		mgL^{-1}	
F _M		29	6.93 b	38000 a	0.028 a	0.207 a	0.006 a
F _I	1	29	7.27 a	37330 a	0.044 a	0.221 a	0.008 a
F _C		29	7.20 a	40000 a	0.023 a	0.613 a	0.012 a
F _M		31	7.57 a	36000 b	0.014 a	0.013 a	0.00005 a
F _I	2	31	7.57 a	36000 a	0.011 b	0.014 a	0.00005 a
F _C		31	7.57 a	34670 b	0.007 a	0.022 b	0.00005 b

1: mais chuvoso; 2: menos chuvoso; F_M: várzea próxima da margem; F_I: várzea intermediária; F_C: várzea central; Al: Alumínio; Fe: ferro; Mn: manganês. As médias seguidas pela mesma letra na mesma área não diferem entre si pelo teste de Tukey com significância de 5%.

O pH variou com as chuvas e foi menor no período chuvoso. Assim, pode-se inferir que durante o período chuvoso, esses valores tendem a serem mais baixos, devido a água da chuva conter teor de ácidos orgânicos e quando entra em contato com a água do Rio Tocantins diminui os valores de pH (Tabela 6). Comportamento semelhante ocorreu no trabalho desenvolvido por Alencar et al. (2019) ao avaliarem a qualidade da água na Baía do Guajará (Rio Guamá), município de Belém. Pode-se inferir também que a presença de metais na água e os ácidos que estão presentes nas gotículas de chuva podem levar a redução do pH que não foi significativa ao ponto deste apresentar caráter ácido e tornar o consumo da água impróprio para os moradores locais.

É possível verificar também que o teor de ferro na água do rio encontrado na várzea central (F_C) no período mais chuvoso é elevado (>0,300 mg/L) segundo o valor de referência apresentado pela resolução do CONAMA 357 (2005) que é de 0,300 mg/L. Este valor está relacionado a fonte de enriquecimento que está ocorrendo nesta área ser predominantemente de origem natural. Sendo tal ocorrência devido aos processos físicos e químicos, como o intemperismo e carreamento do solo (SIQUEIRA et al., 2006). Assim como o ferro, o manganês e o alumínio também foram significativos em relação ao período menos chuvoso e constatam o que foi observado por Mesquita et al. (2016) na Ilha de Mosqueiro sobre a detecção significativa desses metais durante o período chuvoso.

5.3.2. Propriedades biológicas do solo

A respiração basal do solo variou de 101 mg CO₂ kg⁻¹ a 181 mg CO₂ kg⁻¹ nas áreas de várzeas enquanto que o CBM variou de 70 mg kg⁻¹ a 81 mg kg⁻¹ (Tabela 7). A variação nesses atributos pode ser devido aos períodos de inundação que essas áreas sofrem, pois sabe-se que os Gleissolos apresentam limitações de oxigênio pelo excesso de água no solo (REATTO et al.,

2004) e, possivelmente devido a maior umidade do solo no período mais chuvoso, a atividade microbiana seja mais alta e o carbono microbiano do solo menor (DINIZ et al., 2014).

Tabela 7: Caracterização dos atributos biológicos do solo no período mais chuvoso em áreas de várzea sob açai nativo

	C-CO₂ mg CO ₂ kg ⁻¹	CBM mg kg ⁻¹	qCO₂ mg kg ⁻¹	Q_{mic} %
F_M				
MÉDIA	120.04	70.91	4.60x10 ⁻³	0.109
DP	10.40	10.54	1.02x10 ⁻²	0.016
F_I				
MÉDIA	101.85	76.36	2.66x10 ⁻³	0.165
DP	22.61	11.56	5.99x10 ⁻⁴	0.025
F_C				
MÉDIA	181.88	81.82	7.59x10 ⁻³	0.087
DP	44.45	25.43	8.83x10 ⁻³	0.027

F_M: várzea próxima da margem; F_I: várzea intermediária; F_C: várzea central; CBM: carbono da biomassa microbiana; C-CO₂: respiração basal do solo; qCO₂: quociente metabólico; q_{Mic}: quociente microbiano.

O quociente metabólico (qCO_2) variou de $2.66 \times 10^{-3} \text{ mg kg}^{-1}$ a $7.59 \times 10^{-3} \text{ mg kg}^{-1}$ nas três áreas de várzeas (Tabela 7). Este atributo expressa a energia necessária para a manutenção da atividade metabólica em relação à energia necessária para a síntese da própria biomassa, sendo considerado um índice metabólico para avaliar o efeito de condições de estresse sobre a atividade microbiana (ANDERSON; DOMSCH, 1993; GAMA-RODRIGUES et al., 2008). Por isso quanto menor for os valores obtidos desse quociente mais eficiente está sendo o ambiente, ou seja, está havendo menor perda de CO₂ por unidade de biomassa. Valores reduzidos nesse quociente pode ter implicações práticas na agricultura, pois se menos C é incorporado, uma menor quantidade de C é liberada do solo, podendo ocorrer acúmulo de C no solo (BALOTA et al., 2004).

Em relação ao quociente microbiano este variou de 0,087% a 0,165 % nas áreas de várzeas (Tabela 7). No entanto, como o q_{Mic} demonstra quanto do C orgânico do solo está imobilizado na biomassa microbiana e mostra o potencial de reserva desse elemento no solo (CARNEIRO et al., 2009) e representa o acúmulo de carbono nos microrganismos sem alterações no estoque de carbono do solo (GAMA-RODRIGUES et al., 1997), os valores abaixo de 1% no solo das três áreas pode ser devido a influência da maré que essas áreas sofrem e ao alto teor de CO no solo (Tabela 4) que nas condições de solos alagados a taxa de decomposição dos resíduos é reduzida.

A correlação de Pearson entre os atributos microbiológicos e químicos do solo sob açaiçais nativos mostrou que houve correlação positiva entre a respiração do solo com alguns dos atributos químicos do solo (Tabela 8).

Tabela 8: Correlação de Pearson entre os atributos químicos e microbiológicos do solo no período mais chuvoso em áreas de várzea sob açai nativo

	C-CO ₂	qCO ₂	qMic
CO	0.45*	-----	-0.46**
Ca	0.40*	-----	-----
Mg	0.48*	-----	-0.53**
Al	0.40*	-----	-0.44*
H+Al	0.66**	0.42*	-0.63**
SB	0.52**	-----	-0.50**
CTC	0.64**	-----	-0.61*

CO: carbono orgânico; Al: alumínio; H + Al: acidez potencial; SB: soma de bases; T: capacidade de troca catiônica; V: saturação da base; Ca: cálcio; Mg: magnésio; K: potássio; P: fósforo; Fe: ferro; Mn: manganês; CBM: carbono da biomassa microbiana; C-CO₂: respiração basal do solo; qCO₂: quociente metabólico; qMic: quociente microbiano. ** Correlação é significativa a nível 0,01. * Correlação é significativa a nível 0,05.

A correlação positiva entre a atividade microbiana do solo com os atributos químicos do solo demonstra que a presença destes atributos no solo ocorre um aumento da respiração do solo pelos microrganismos. O quociente metabólico teve correlação positiva com a acidez potencial. Correlação negativa ocorreu entre quociente microbiano e os atributos químicos do solo. No estudo realizado por Lourente et al., (2011) em solo sob diversos manejos não encontrou correlação significativa entre os atributos químicos e microbiológicos do solo. Portanto estudos sobre o comportamento dos atributos microbiológicos do solo em ambientes de várzea ainda é pouco explorado, por isso a contribuição deste estudo é fundamental para compreensão do funcionamento destes ambientes.

5.4. CONCLUSÕES

O solo das três áreas de várzeas possuem características químicas do solo que enquadram esses sistemas em solos com teores de nutrientes em condições naturais evidenciando a boa manutenção e a influência da deposição dos sedimentos vindos com a maré que contribuem com o enriquecimento químico das várzeas e disponibilidade de nutrientes para a produção do açaiçal nos dois períodos avaliados.

A qualidade da água do rio apresentou condições químicas próprias para consumo pelos ribeirinhos que moram nas áreas de várzeas.

O quociente metabólico evidenciou uma eficiência do sistema em menores perdas de CO₂ pela respiração para o ambiente. Os atributos químicos do solo apresentaram correlação significativa com os atributos microbiológicos do solo das três áreas de várzeas estudadas.

5.5. REFERÊNCIAS

ALENCAR, V. E. S. A., DA ROCHA, E. P., JÚNIOR, J. A. S., CARNEIRO, B. S. Análise de parâmetros de qualidade da água em decorrência de efeitos da precipitação na baía de Guajará – Belém–PA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.12, n.02, p.661-680, 2019.

ALEWELL, C.; PAUL, S.; LISCHIED, G.; STORCK, F.R.; Co-regulation of redox processes in freshwater wetlands as a function of organic matter availability? *Science of the Total Environment*, v.404, n.2-3, p.335-342, 2008.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. 23° Ed. Washington, APHA, 2017. 1100p

ANDE O.T.; ARE K.S.; ADEYOLANU O.D.; OJO O.A.; OKE A.O.; ADELANA A.O.; ADETAYO A.O.; OLUWATOSIN G.A. Characterization of floodplain soils in Southern Guinea Savanna of North Central Nigeria. *Catena*, v.139, p. 19–27, 2016.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

ASHRAF, M. Relationships between leaf gas exchange characteristics and growth of differently adapted populations of Blue panicgrass (*Panicum antidotale* Retz) under salinity or waterlogging. *Plant Science*, v. 165, p. 69-75, 2003.

BALOTA, E. L.; COLLOZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 77, p. 137-145, 2004.

BALOTA, E.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 1998..

BARROUX, G.A. Etude biogéochimique d“un système lacustre de la laine d“inondation amazonienne: Cas de la várzea de Curuai (Pará, Brésil). Toulouse, 2006.

BASTOS, A. P. V. Et al. Economia e Sociedade na região do Tocantins, Pará. *Papers do Naea* N° 259; 2010.

BRONDÍZIO, E. S. The amazon caboclo and the açai palm: forest farmers in the global market. *Advances in Economic Botany*, vol. 1 6, 2008. 403p.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FREITAS, D. A. F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.613-622, 2011.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. de; REIS, E. F. dos; PEREIRA, H. S. AZEVEDO, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CHENG, J.; WONG, H. M. Effects of earthworms on Zn fractionation in soils. *Biology & Fertility of Soils, Florence*, v. 36, n. 1, p. 72-78, 2002.

- CHRISTIANSEN, J.R.; GUNDERSEN, P.; FREDERIKSEN, P.; VESTERDAL, L. Influence of hydromorphic soil conditions on greenhouse gas emissions and soil carbon stocks in a Danish temperate forest. *Forest Ecology and Management*. v.284, p.185–195, 2012.
- CIALDELLA, N.; NAVEGANTES-ALVES, L. La ruée vers l'açaí (*Euterpe oleracea* Mart): Trajectories d'un fruit emblématique d'Amazonie. **Revue Tiers Monde**, v. 220, p. 121-138, 2014.
- COCHRANE, T. & SANCHEZ, P. A. Land resources of the Amazon Basin. in S. B. Hecht (Ed.) *Land Use and Agricultural Research in the Amazon Basin* (Cali. Colombia: CIAT, 1982). Pp: 137-211.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial [da] União, n. 53, 18 mar. 2005, p. 58-63.
- CORDEIRO, I. M. C. C.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; SCHWARTZ, G.; OLIVEIRA, F. de A. *Nordeste Paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias*. Belém, PA: EDUFRA, 323p. 2017.
- CORINGA, E. et al. Atributos de solos hidromórficos no pantanal norte matogrossense. *Acta Amazonica*, v. 42, n. 1, p. 19–28, 2012.
- CRAVO, M. da S. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará*. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. 262p.
- DINIZ, L. T. et al. Microbial and chemical changes in Gleysol under native macauba palms by the spatial and seasonal variations. *Bioscience Journal*, v. 30, n. 3, p. 750-762, 2014.
- EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solos*. Organizadores: Guilherme Kangussú Donagema... [et al.]. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. - (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627;132).
- FAJARDO, J.D.V.; SOUZA, L.A.G. de; ALFAIA, S.S. Características químicas de solos de várzeas sob diferentes sistemas de uso da terra, na calha dos rios Baixo Solimões e Médio Amazonas. *Acta Amazonica*, v.39, p.731-740, 2009.
- FERNANDES, F.A.; FERNANDES, A.H.B.M.; SOARES, M. T. S.; PELLEGRIN, L.A.; LIMA, I.B.T. *Update Map of Soils of the Pantanal lowlands for the Brazilian System of Soil Classification*. Comunicado Técnico 61 - Brasília-DF: Embrapa Pantanal, Corumbá-MS, 6 pp. 2007.
- FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O. & VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 23:991-996, 1999.
- FRAXE, T. DE J. P.; PEREIRA, H. DOS S.; WITKOSKI, A. C. Comunidades Ribeirinhas Amazônicas: modos de vida e uso dos recursos naturais. Manaus-AM: Editora da Universidade do Amazonas - EDUA, 2015. 224 p.
- GAMA, J. R. V.; BOTELHO, S. A.; BENTES-GAMA, M. M.; SCOLFORO, E J. R. S. Composição florística e estrutura da regeneração natural de floresta secundária de várzea baixa no estuário amazônico. *Revista Árvore*, v. 26, n. 5, p. 559-566, 2002.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; da; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; BARROS, N. F. de; Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 361-365, 1997.

- GAMA-RODRIGUES, S. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS G. A. & CAMARGO, F. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008.
- GOMES, A. da S. et al. Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase às áreas de várzea do Rio Grande do Sul. **Documentos 169**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 40p.
- GONÇALVES, G. de M. O. Atributos químicos do solo de várzea tropical cultivado com arroz irrigado em razão do manejo do nitrogênio. Dissertação de mestrado. Goiânia, 62p. 2016.
- GREENWAY, H.; ARMSTRONG, W. & COLMER, T.D. 2006. Conditions leading to high CO₂ (>5 kPa) in waterlogged flooded soils and possible effects on root growth and metabolism. *Annals of Botany* 98: 9-32
- JARDIM, M. A. G.; VIEIRA, I. C. G. Composição florística e estrutura de uma floresta de várzea do estuário amazônico, ilha do Combu, Estado do Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 17, n. 2, p. 333-354, (Série Botânica), 2001.
- KOZLOWSKI, T.T. 1997. Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiology Monograph* 1: 1-29.
- LAY, J.F., SCARPATI, O. & CAPRIOLO, A. 2008. Precipitation variability and soil water content in Pampean Flatlands (Argentina). *Geofísica Internacional* 47 (4): 341-354.
- LIMA A. C. R. de.; HOOGMOED W.; BRUSSAARD L. Soil Quality Assessment in Rice Production Systems: Establishing a Minimum Data Set. **Journal of Environmental Quality**, v. 37, 2008.
- LIMA, E. U. et al. O arranjo produtivo local (APL) do açaí na Ilha de Arumanduba (Abaetetuba/PA): um estudo de caso na comunidade Nossa Senhora da Paz. In: Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, Belém, PA: SOBER, p. 51, 2013.
- LIMA, H. N. et al. Dinâmica da mobilização de elementos em solos da Amazônia submetidos à inundação. *Acta Amazonica*, v. 35, n. 3, p. 317-330, 2005.
- LOPES, E. L. N. et al. Características químicas de um Gleissolo sob diferentes sistemas de uso, nas margens do rio Guamá, Belém, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais*, v. 1, n. 1, p. 127-137, 2006.
- LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, S. F.; GASPARINE, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.
- MAFRA, A.L. et al. Humic acids from hydromorphic soils of the upper Negro river basin, Amazonas: Chemical and spectroscopic characterisation. **Geoderma**, v. 138, p. 170-176, 2007.
- MAGNAGO, L. F. S. et al. Gradiente fitofisionômico-edáfico em formações florestais de Restinga no Sudeste do Brasil. **Acta botânica brasileira**, v. 24, n. 3, p. 734-746, 2010.
- MATHIEU, J., ROSSI, J. P., MORA, P., LAVELLE, P., MARTINS, P. F. D., ROULAND, C.; GRIMALDI, M. Recovery of soil macrofauna communities after forest clearance in Eastern Amazonia, Brazil. *Conservation Biology*, v.19, 1598-1605, 2005.
- MATTAR, R.M.V.C.; VIEIRA, L.S.; SILVA, G.R. Efeito da inundação sobre o pH e a disponibilidade de fósforo, sódio, ferro e manganês em um gley pouco húmico coletado na várzea do Rio Guamá, Belém (PA). **Revista de Ciências Agrárias**, n.37, p.113-121, 2002.

- MESQUITA, K.F.C.; SANTOS, M.L.S.; PEREIRA, J.A.R.; SILVA, M.A.M. Avaliação da concentração de metais na água subterrânea consumida em comunidades amazônicas brasileiras. *Ciência & Engenharia*, v. 25, p. 91-96, 2016.
- NGO-MBOGBA, M.; YEMEFACK, M.; NYECK, B. Assessing soil quality under different land cover types within shifting agriculture in South Cameroon. *Soil & Tillage Research*, 150,124–131,2015.
- NOGUEIRA, O. L., FIGUEIRÊDO, F.J. C; MULLER, A.A. **Açaí**. Embrapa Amazônia Oriental. Belém, Pará. 137p. (Sistemas de Produção, 4), 2005.
- PADOCH, C., Ayres, M., Pinedo-Vasquez, M.; Henderson, A. (eds). 2000. *Várzea: Diversity, Development, and Conservation in Amazonia's Whitewater Floodplains*. The New York Botanical Garden Press, New York.
- PANG, J.; SHABALA, S. Membrane Transporters and Waterlogging Tolerance. In: MANCUSO, S.; SHABALA, S.; PANG, J. (Eds.). *Waterlogging Signalling and Tolerance in Plants*. London: Springer Berlin Heidelberg, 2010. p. 97-219.
- QIAN, J. et al. Effects of riparian land use changes on soil aggregates and organic carbon. **Ecological Engineering**, v. 112, p. 82–88, 2018.
- REATTO, A.; MARTINS, E. S.; SPERA, S. T.; FARIAS, M. F. R.; SILVA, A. V.; CARVALHO Jr., O. A.; GUIMARÃES, R. F. Levantamento detalhado dos solos da bacia hidrográfica do Córrego Taguatinga, DF, escala 1:25.000. Planaltina: Embrapa Embrapa Cerrados. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 122, 2004.
- RIBEIRO, R.N.S.; SANTANA, A.C. de; TOURINHO, M.M. Análise Exploratória da Socioeconomia de Sistemas Agroflorestais em Várzea Flúvio-Marinha, Cametá-Pará, Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v.42, n. 1, p. 133-152, 2004.
- SIOLI, H.; SOARES, T. 50 anos de pesquisa em limnologia na Amazônia. *Acta Amazônica*, 36(3): 287-298. 2006.
- SIQUEIRA, G. W.; PEREIRA, S. F. P.; APRILE, F. M. Determinação dos elementos-traço (Zn, Co e Ni) em sedimentos da Plataforma Continental Amazônica sob influência da descarga do rio Amazonas. *Acta Amazônica*, v.36, n.3, p.321-326, 2006.
- SPARLING, G. P.; WEST, A. W. A direct extraction method to estimate soil microbial – C calibration in situ using microbial respiration and ¹⁴C-labeled cells. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 20, n. 3, p. 337-348, 1988.
- TIMM, L.C., PIRES, L.F., ARTHUR, R.C.J., REICHARDT, K., OLIVEIRA, J.C.M. & BACCHI, O.O.S. Field spatial and temporal patterns of soil water content and bulk density changes. *Scientia Agricola*, v.63, n(1), p:55-64. 2006.
- TOMÉ JÚNIOR, J.B. 1997. Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba: Agropecuária. 247 pp.
- TREVISAN, G. V. & FORSBERG, B.R. Relationships among nitrogen and total phosphorus, algal biomass and zooplankton density in the central Amazonia lakes *Hydrobiologia*, 586: 357- 365. 2007.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. **Keys to Soil Taxonomy**. 11th ed., 2010. 345 p.
- VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. *Soil Science Society of America Journal*, 58:175-180, 1994.

VIÉGAS, I.J.M., FRAZÃO, D.A.C., THOMAZ, M.A.A., CONCEIÇÃO, H.E.O. DA, PINHEIRO, E. Limitações nutricionais para o cultivo de açaizeiro em latossolo amarelo textura média, Estado do Pará. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v.26, n.2, p.382-384. 2004.

VIEIRA, L. S. et al. Formas de fósforo em solos de Estado do Pará I: latossolo Amarelo, textura média da parte noroeste da Região Bragantina. *Boletim da FCAP*, Belém, n. 21, p. 65-75, 1993.

WALKLEY, A. & BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37:29-38, 1934.

WARMLING, M.T.; ALBUQUERQUE, J.A.; ALMEIDA, J.A. D.; WARMLING, M.I. Características dos solos das zonas úmidas das terras altas como subsídio para identificar e estabelecer seus limites. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 41, 2017.