



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

JULIANA CHAGAS RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DE POMARES DE MANGUEIRA COMO ALTERNATIVA PARA A
REABILITAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NO ESTADO DO PARÁ**

BELÉM, PA

2017



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

JULIANA CHAGAS RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DE POMARES DE MANGUEIRA COMO ALTERNATIVA PARA A
REABILITAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NO ESTADO DO PARÁ**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Ciências Florestais: área de concentração Ciências Florestais, para obtenção do título de Doutor.

Orientadora: Profa. Dra. Izildinha de Souza Miranda

Co-orientador: Prof. Dr. Adriano Marlisom Leão de Sousa

BELÉM, PA

2017

Rodrigues, Juliana Chagas

Avaliação de pomares de mangueira como alternativa para a reabilitação de áreas degradadas no Estado do Pará / Juliana Chagas Rodrigues. – Belém, 2017.

87 p.

Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2017.

Orientadora: Izildinha de Souza Miranda

1. Mangueira – Pomares – reabilitação – áreas degradadas 2. Serapilheira - Amazônia 3. *Mangifera indica* L. - Amazônia I. Miranda, Izildinha de Souza. II. Título.

CDD – 634.44098115



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

JULIANA CHAGAS RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DE POMARES DE MANGUEIRA COMO ALTERNATIVA PARA A
REABILITAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NO ESTADO DO PARÁ**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Ciências Florestais: área de concentração Ciências Florestais, para obtenção do título de Doutor.

Aprovada em: 17 de Fevereiro de 2017.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Izildinha de Souza Miranda – Orientadora
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

Profa. Dra. Maria Isabel Vitorino – 1º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

Profa. Dr. Marcos André Piedade Gama – 2º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

Prof. Dr. Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza – 3º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

Prof. Dr. Luiz Gonzaga da Silva Costa – 4º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

Dedico,

*Aos meus pais,
Ailto Rodrigues e Lenora Chagas,
pelo dedicação, carinho, amor e ensinamentos,
durante todos os anos de minha vida.*

*A minha irmã,
Lenise Rodrigues,
pelo amor, carinho, amizade, companheirismo e
incentivo.*

AGRADECIMENTOS

A Deus pela benção da vida e ser fonte de minha felicidade, entusiasmo e esforço.

A minha família pelo apoio, dedicação e carinho.

A Antônio Claudio Lima pelo companheirismo, carinho e apoio.

A Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, pela formação acadêmica, concessão da área de estudos (floresta e pomar de mangueiras) e oportunidade de realização do curso de doutorado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA) pelo financiamento dos projetos de pesquisa que viabilizaram o desenvolvimento deste estudo.

A minha orientadora, professora Dra. Izildinha Miranda pela orientação, ensinamento, paciência, respeito, amizade, competência e profissionalismo.

Ao meu co-orientador, professor Dr. Adriano Sousa pelo auxílio, amizade, paciência, dedicação, oportunidades e incentivo.

Ao engenheiro agrônomo Raimundo Nonato, pela amizade, convivência e grande apoio nas atividades de campo em todos os momentos que necessitei.

Aos funcionários do campus de Castanhal e Cuiarana, pela amizade e auxílio nas atividades de campo.

A família Rodrigues da Costa concessão da área de estudos (área degradada).

Aos engenheiros ambientais, Érica Alves, Fabiana Pereira e Yan Dias; e ao engenheiro florestal, Cássio Rafael dos Santos pelo imprescindível auxílio nas análises microbiológicas e químicas do solo.

Aos engenheiros ambientais, Tássia Toyoi Takashima, Gustavo Francesco Dias, Giovani Ferreira, Hugo Marcel Farias; aos engenheiros agrônomos, Daniely Souza, Sidney Daniel Costa, Sylmara Luz e Wylker Castro, e aos discentes, Ana Karla Pontes, Brenda Karina da Silva, Camille Silva, Carmen Grasiela Martins, Jessica Suellen Teixeira, Juliete Oliveira, Kyrzi Laina Santos, Leonardo Brandão, Lilian Tavares e Paulo Vinícius da Silva, pela amizade e auxílio nas coletas de campo e análise de laboratório.

Aos meteorologistas, Guilherme Camarinha Neto e ao Me. Hildo Giuseppe Nunes, pela manutenção das estações micrometeorológicas e coleta dos dados meteorológicos imprescindíveis ao desenvolvimento desta tese.

Aos técnicos e assistentes do Laboratório de Fertilidade do Solo da UFRA, Fábio Moura, Demócrito Júnior, Júlio César, Samoel Oliveira e Amauri Costa pela amizade, imensa disponibilidade e auxílio durante as análises químicas do solo.

Ao engenheiro agrônomo Olivar Ribeiro pelo apoio, amizade e auxílio no planejamento do estudo a ser desenvolvido durante o doutorado.

A Me. Joyse Tatiane Santos pela amizade, auxílio nas coletas de campo e na elaboração do mapa de localização deste estudo.

Aos colegas do Laboratório Hidroclimático da Amazônia (LabHCAM), pelo apoio e a amizade.

Ao grupo de pesquisa Biodiversidade da Amazônia (BIOAMA), principalmente, a Dra. Tâmara Thaiz Lima, ao Me. Alessio Santos, ao Me. Fábio Leão, ao Me. Igor Gonçalves, a Me. Mariana Oliveira e ao Me. Graciliano Santos, pela ajuda nas análises estatísticas, elaboração da apresentação e por me escutar nas prévias.

Ao Programa de Educação Tutorial (PET) Florestal da UFRA, principalmente, ao professor Dr. Luiz Gonzaga Costa, na época tutor do programa, e as discentes Jéssica Reis e Verena Reis pelo auxílio na pesagem e por me ceder o uso do moinho tipo Willey usado na moagem da serapilheira.

Ao Laboratório de Fisiologia Vegetal, principalmente, ao professor Dr. Cândido Oliveira Neto e seus orientados, Me. Glauco André Nogueira, Me. Wander Luiz Ataíde, Jéssica Martins e Thays Costa pela ajuda quando houve falta de água destilada para as análises de solo por meio da doação desta para que as análises fossem possíveis.

Aos professores Dr. Mário Lopes Junior, Dr. Norberto Noronha, Dr. Paulo Jorge Souza, Dra. Silvana Veloso, Dra. Suzana Araújo, Dra. Vânia Melo pelos ensinamentos, apoio e incentivo.

Ao PET Solos da UFRA pela assistência prestada no início das análises de solo.

A banca examinadora de qualificação e defesa pelas sugestões de correção que muito contribuíram para meu trabalho.

Finalmente, a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

Muito obrigada!!!

“Desistir... eu já pensei seriamente nisso, mas nunca me levei realmente a sério; é que tem mais chão nos meus olhos do que o cansaço nas minhas pernas, mais esperança nos meus passos, do que tristeza nos meus ombros, mais estrada no meu coração do que medo na minha cabeça”.

Cora Coralina

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

Martin Luther King

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Mapa de localização da área de estudo, em Salinópolis, Pará	26
Figura 2.2. Variabilidade e anomalia das chuvas no período de julho de 2014 a junho de 2016, Salinópolis, Pará	31
Figura 2.3. Dendrograma da análise de agrupamentos de duas estações (menos chuvosa e chuvosa) e três ambientes (floresta, pomar de mangueiras e área degradada), nas profundidades 0-5 cm (A) e 5-10 cm (B), em Salinópolis, Pará	39
Figura 2.4. Distribuição dos conjuntos estação e ambiente conforme os componentes principais 1 e 2, nas profundidades 0-5 cm (A) e 5-10 cm (B), em Salinópolis, Pará	41
Figura 2.5. Análise de componentes principais (PCA) com base nos atributos do solo em três ambientes (floresta, pomar de mangueiras e área degradada), nas profundidades 0-5 cm (A) e 5-10 cm (B), em Salinópolis, Pará	44
Figura 3.1. Variáveis meteorológicas e a média da produção total de serapilheira no período de julho de 2015 a junho de 2016, em Salinópolis, Pará	59
Figura 3.2. Produção mensal das frações da serapilheira nos três ambientes estudados, em Salinópolis, Pará	61
Figura 4.1. Demanda média diária de vapor de água pela atmosfera (DPV) no sub-bosque do pomar de mangueiras, em Salinópolis, Pará	78
Figura 4.2. Chuva (barras) e temperatura do ar (linhas) no sub-bosque nos ambientes estudados, em quatro estações, em Salinópolis, Pará	79
Figura 4.3. Média horária da temperatura média (T) do ar no sub-bosque durante a estação seca, em dois ambientes, no período diurno e noturno, em Salinópolis, Pará	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Valores de F e os níveis de significância associados aos efeitos das estações (menos chuvosa e chuvosa), dos ambientes (floresta, pomar de mangueiras e área degradada), e sua interação sobre os atributos do solo, em Salinópolis, Pará	33
Tabela 2.2. Atributos químicos, físicos e biológicos em solos de floresta, pomar de mangueiras e área degradada nas estações menos chuvosa e chuvosa, na profundidade 0-5 cm, em Salinópolis, Pará	34
Tabela 2.3. Atributos químicos, físicos e biológicos em solos de floresta, pomar de mangueiras e área degradada nas estações menos chuvosa e chuvosa, na profundidade 5-10 cm, em Salinópolis, Pará	37
Tabela 2.4. Contribuição dos atributos do solo em cada componente principal nas profundidades 0-5 e 5-10 cm, em Salinópolis, Pará	42
Tabela 3.1. Características químicas e físicas dos solos das áreas de floresta, pomar de mangueiras e área degradada, nas estações menos chuvosa e chuvosa, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, em Salinópolis, Pará	55
Tabela 3.2. Valores de F e os níveis de significância associados aos efeitos de tratamentos (três ambientes: floresta, pomar de mangueira e área degradada), estações (menos chuvosa e chuvosa) e sua interação sobre a produção e decomposição de serapilheira, em Salinópolis, Pará	58
Tabela 3.3. Produção média anual de serapilheira (média \pm desvio padrão) por frações e total, nos três ambientes estudados, em Salinópolis, Pará	58
Tabela 3.4. Valores de F e os níveis de significância associados ao efeito dos tratamentos (três ambientes: floresta, pomar de mangueira e área degradada) sobre o aporte de nutrientes da serapilheira, em Salinópolis, Pará	63
Tabela 3.5. Nutrientes da serapilheira (média \pm desvio padrão) por frações, nos três ambientes estudados, em Salinópolis, Pará	64
Tabela 3.6. Constante e tempo de decomposição (média \pm desvio padrão) nos ambientes estudados, durante as estações menos chuvosa e chuvosa, em Salinópolis, Pará	67
Tabela 4.1. Média das temperaturas máxima, mínima e média, amplitude térmica do ar e déficit de pressão de vapor de água na atmosfera (média \pm desvio padrão) no sub-bosque dos ambientes estudados, e análise de variância, graus de liberdade do resíduo, valor de F, significância, e teste t, em quatro estações do ano, em Salinópolis, Pará	81

SUMÁRIO

RESUMO	
ABSTRACT	
1 CONTEXTUALIZAÇÃO	13
REFERÊNCIAS	18
2 INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE DAS CHUVAS NOS ATRIBUTOS DO SOLO EM DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NA AMAZÔNIA	23
RESUMO	23
ABSTRACT	24
2.1 INTRODUÇÃO	25
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	26
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
2.4 CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS	46
3 APORTE DE NUTRIENTES VIA SERAPILHEIRA EM POMAR DE MANGUEIRAS E ÁREAS DEGRADADAS NA AMAZÔNIA	50
RESUMO	50
ABSTRACT	51
3.1 INTRODUÇÃO	52
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	53
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
3.4 CONCLUSÕES	69
REFERÊNCIAS	70
4 MICROCLIMA EM SUB-BOSQUE DE POMAR DE MANGUEIRAS E ÁREA DEGRADADA NA AMAZÔNIA	74
RESUMO	74
ABSTRACT	75
4.1 INTRODUÇÃO	76
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	76
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
4.4 CONCLUSÕES	83
REFERÊNCIAS	84
CONCLUSÕES GERAIS	87

Resumo: As áreas degradadas estão se expandindo na Amazônia; este aumento provoca o desequilíbrio da interação ambiente-atmosfera, tornando necessária a implantação de ações mitigadoras. A mangueira (*Mangifera indica* L.) cultivada em pomares poderia ser utilizada como alternativa para reabilitação de áreas degradadas. Esta tese tem como objetivo avaliar um pomar de mangueiras como alternativa para reabilitação de áreas degradadas no nordeste paraense, Brasil. A tese foi desenvolvida em três capítulos, e cada capítulo abordou um tema: qualidade do solo, serapilheira, e microclima. O estudo foi desenvolvido em Salinópolis, no Pará, Brasil. A qualidade do solo foi avaliada no período de julho de 2014 a junho de 2016; onde foram monitorados 11 atributos químicos, físicos e biológicos do solo. A avaliação da qualidade do solo considerou a influencia da sazonalidade das chuvas na região. A serapilheira foi acompanhada no período de julho de 2015 a junho de 2016; foi avaliada a produção de serapilheira, o aporte de nutrientes ao solo via serapilheira, e a decomposição da serapilheira. O microclima no sub-bosque foi monitorado diariamente no período de dezembro de 2015 a novembro de 2016, considerando quatro estações distintas, conforme da sazonalidade de chuvas na região; foram monitoradas: temperatura máxima, mínima, e média do ar, amplitude térmica do ar e déficit de pressão de vapor de água na atmosfera. A sazonalidade das chuvas influenciou os atributos do solo, especialmente, na profundidade 5-10 cm e na área degradada. O pomar de mangueiras não melhora a qualidade do solo quando comparado a áreas degradadas. A produção e o aporte de nutrientes ao solo via serapilheira foram similares entre a floresta e o pomar de mangueiras. O processo de decomposição foi mais rápido no pomar de mangueiras, em relação à área degradada, especialmente durante a estação chuvosa. O pomar de mangueiras promove a amenização do microclima no sub-bosque através da redução, principalmente, da temperatura máxima e amplitude térmica do ar em relação ao microclima no sub-bosque da área degradada. O pomar de mangueiras pode ser utilizado como alternativa para reabilitação de áreas degradadas no nordeste paraense, pois reabilita importantes serviços ecossistêmicos, como a proteção do solo (serapilheira), a ciclagem de nutrientes e o controle do clima.

Palavras-chave: Ciclagem de nutrientes. *Mangifera indica* L. Microclima. Sazonalidade das chuvas. Serapilheira.

Abstract: Degraded areas are expanding in the Amazon; this increase causes the imbalance of the environment-atmosphere interaction, making it necessary to implement mitigating actions. Mango tree (*Mangifera indica* L.) cultivated in orchard could as an alternative for degraded areas rehabilitation. This thesis aims to evaluate a mango orchard as an alternative for degraded areas rehabilitation in northeast Pará, Brazil. The thesis was developed in three chapters, and each chapter has a theme: soil quality, litter, and microclimate. The study was developed in Salinópolis, Pará, Brazil. Soil quality was evaluated in the period from July 2014 to June 2016; where 11 chemical, physical and biological attributes of the soil were monitored. The evaluation of soil quality considered the influence of seasonal rainfall in the region. The litter was monitored from July 2015 to June 2016. Litter production, nutrient input to the soil via litter, and litter decomposition were evaluated. The microclimate in the understory was monitored daily from December 2015 to November 2016, considering four distinct seasons, according to the seasonal rains in the region; were monitored: maximum, minimum, and average air temperature, thermal air amplitude, and atmospheric water vapor pressure deficit. The seasonal rains affected the soil properties, especially in the 5-10 cm depth and degraded area. Mango orchards do not improve soil quality when compared to degraded areas. The production and the nutrients contribution to the soil via litter were similar between the forest and the mango orchard. The decomposition process was rapider in mango orchard than degraded area, especially during the rainy season. The mango orchard promotes microclimate mitigation in the understory by mainly reducing the maximum temperature and thermal amplitude of the air in relation to the microclimate in the understory of the degraded area. The mango orchard can be used as an alternative for the rehabilitation of degraded areas in northeast Pará, Brazil, as it rehabilitates important ecosystem services, such as improving soil protection (litter), nutrient cycling and climate control.

Key words: Nutrient cycling. *Mangifera indica* L. Microclimate. Seasonal rainfall. Litter.

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O aumento populacional resulta na crescente demanda por alimentos no mundo. Na década de 1950, estimou-se que a população humana era de 2,5 bilhões de habitantes, aumentando para 7,2 bilhões, em 2014, e deve ultrapassar 11,2 bilhões de habitantes, em 2100 (FAO, 2015; ONU, 2015). Por isso, as áreas cultiváveis no mundo também cresceram 19%, passando de 3,1 bilhões de hectares, em 1961, para 3,7 bilhões de hectares, em 2014, proporcionando o aumento na produção de alimentos agrícolas de 6,9 T, em 1961, para 15,1 T, em 2014, entretanto, mesmo diante desta oferta de alimentos, 11% da população mundial encontra-se subnutrida (FAO, 2015).

Um dos efeitos da expansão de áreas cultiváveis está relacionado às mudanças climáticas, devido às alterações no uso da terra provocado por este processo (PIELKE SR., 2005). Estudos mostram que o aumento na temperatura global tem relação direta com a emissão de gases estufa, principais causadores do aquecimento global (IPCC, 2014). Agravando este quadro, projeções de modelagem climática tem mostrado que até o final deste século, a temperatura do ar na superfície deve aumentar, podendo atingir até +7 °C, em 2100, no leste e no sul da Amazônia (MARENGO et al., 2012). Os efeitos do aquecimento global na fauna e flora são danosos, podendo levar a redução de habitats das espécies (BAKER et al., 2015; BLACH-OVERGAARD et al., 2015; COURTOIS et al., 2015; LOUCA et al., 2015).

Na região amazônica, os eventos climáticos extremos estão relacionados às condições do El Niño-Oscilação do Sul (ENOS) no oceano Pacífico e as anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico, ambos com ocorrência na porção tropical destes oceanos, ou como combinação do ENOS e da TSM (MARENGO; ESPINOZA, 2016). O El Niño-Oscilação do Sul é composto por duas fases, resultado do resfriamento (La Niña) ou aquecimento (El Niño) anormal das águas do oceano Pacífico tropical (PHILANDER; FEDOROV, 2003). No Brasil, o El Niño altera, principalmente, o volume, a intensidade e a regularidade das chuvas; na região Norte ocorre sua redução, enquanto que no Sul estas são intensificadas (SOUSA et al., 2015; MAIER et al., 2016). Na Amazônia, o El Niño provoca a diminuição na formação de nuvens e, conseqüentemente, a redução no volume de chuvas, além disso, há o aumento dos incêndios florestais na região (ARAGÃO et al., 2007; JIMÉNEZ-MUÑOZ et al., 2016).

A vegetação, principalmente de porte arbóreo, desempenha um papel importante na dinâmica convectiva e taxas de chuva regional, portanto, mudanças no uso da terra alteram o

balanço de radiação e energia na superfície, proporcionando modificações no coeficiente de reflexão (albedo), aumento da temperatura local e redução na evapotranspiração, impactando diretamente no teor de vapor de água na atmosfera (SWANN et al., 2015). Portanto, ensaios relacionados à interação ambiente-atmosfera tem ganhado maior relevância, principalmente, em cenários de mudança de uso da terra, como o desmatamento na Amazônia e/ou conversão de áreas florestadas em áreas de uso de agrícola e pecuário.

Na Amazônia, um dos principais sistemas de uso da terra é a agricultura de corte e queima, alternando ciclos de cultivo e pousio; sendo este último processo lento e gradativo, e serve para recuperar a fertilidade do solo. Durante o pousio, o solo depende da resiliência para se regenerar, como banco de sementes e plântulas, e a capacidade de rebrota de espécies, no entanto, dependendo da intensidade do distúrbio, a regeneração natural poderá ser muito lenta (MARTINS, 2013). Esta prática proporciona mudanças significativas na cobertura vegetal, em diversas áreas. Em longo prazo, provoca o empobrecimento dos atributos do solo, proporcionando a degradação edáfica da região (COMTE et al., 2012; RANGEL-VASCONCELOS et al., 2012).

A taxa de desmatamento na Amazônia reduziu na última década, em 2005, estava em 19.014 km², e após uma década, em 2015, alcançou 6.207 km² (INPE, 2016), fato que demonstrou a redução da substituição da floresta pela expansão da agricultura e pastagens. No entanto, o percentual de florestas degradadas (florestas intensamente exploradas pela atividade madeireira e/ou queimadas) aumentou em 61%, na comparação entre agosto e novembro de 2015 e o mesmo período em 2016 (FONSECA et al., 2016).

A vegetação exerce papel fundamental na Amazônia, pois a fertilidade dos solos da região depende diretamente dela (QUESADA et al., 2011); a remoção desta vegetação provoca impactos diretos nos atributos do solo e na ciclagem de nutrientes (SILVA et al., 2014), que representa a troca de nutrientes entre os seres vivos e o ambiente, por meio do solo, onde se depositam partes senescentes dos vegetais, denominada serapilheira, e sua posterior decomposição. Sendo que o clima é o fator determinante para a decomposição da serapilheira em regiões tropicais e temperadas (GARCÍA-PALACIOS et al., 2013).

Os atributos do solo, principalmente, os biológicos, são afetados por fatores climáticos, como alterações no volume de chuvas, aumento da temperatura do ar e do solo e incremento nas concentrações de CO₂, pois estes constituem indicadores sensíveis às alterações ambientais (SINGH et al., 2010); em conjunto com os atributos químicos e físicos do solo constituem as propriedades edáficas que estão estritamente ligadas à qualidade do solo para manter o equilíbrio ambiental e promover a saúde de plantas e animais e do próprio ser

humano (DORAN, 2002). Modificações na cobertura vegetal do solo podem levar a degradação de áreas na Amazônia proporcionando o aumento do desequilíbrio na interação ambiente-atmosfera, tornando necessária a implantação de ações mitigadoras.

A recuperação de áreas degradadas tem sido objeto de estudo de muitas pesquisas (EINLOFT et al., 2013; SALOMÃO et al., 2014; RECH et al., 2015; SEENIVASAN et al., 2015; SILVA et al., 2015). A recuperação de áreas degradadas subdivide-se na restauração e reabilitação florestal (CHAZDON et al., 2016). Estes termos se diferenciam pelo processo e a finalidade, variando em relação à composição de espécies, estrutura e histórico da função dos ecossistemas (STANTURF et al., 2014). A restauração florestal considera o histórico da área e a recuperação da composição florística com espécies nativas, mantendo a integridade ecológica, enquanto que a reabilitação florestal tem como foco os aspectos funcionais da recuperação, além disso, podem ser utilizadas espécies não nativas (CHAZDON et al., 2016).

Uma espécie para ser utilizada na recuperação de áreas degradadas, deve atender algumas características, como crescimento rápido, copa ampla, características atrativas à fauna e tolerância às mudanças na umidade do solo (MARTINS, 2013).

Normalmente, são utilizadas espécies arbóreas florestais (SALOMÃO et al., 2014; RECH et al., 2015), gramíneas e leguminosas (EINLOFT et al., 2013), e cultivos anuais (KOSCHKE et al., 2013). Algumas espécies de fruteiras foram utilizadas na recuperação de áreas degradadas, como a goiaba (*Psidium guajava* L.), o muruci (*Byrsonima crassifolia* L.) Kunth) e o taperebá (*Spondias lutea* Engl.) (SALOMÃO et al., 2014), entretanto, sempre em conjunto com outras espécies florestais.

Na reabilitação, pode-se selecionar apenas uma espécie e esta deve recuperar, pelo menos, uma função ecossistêmica (MARTINS, 2013), como a qualidade do solo, a ciclagem de nutrientes ou a regulação climática.

A mangueira (*Mangifera indica* L.) é uma espécie frutífera originária da Ásia, pertencente à família Anacardeaceae (SIMÃO, 2004). Possui árvore frondosa, de porte médio a grande, folhagem sempre verde, variando de ereta e aberta a baixa e densa (CUNHA et al., 2002; SIMÃO, 2004). As mangueiras sobrevivem bem em solos com pouca fertilidade, aos períodos de seca, e são eficientes na absorção de nutrientes (GANESHAMURTHY; REDDY, 2015). Ela produz frutos que são fonte de nutrientes, vitaminas e fibras dietéticas, possuindo sabor, textura e aparência que agradam o consumidor (KUMAR et al., 2015).

No cenário mundial, em 2014, o Brasil ocupava a sétima posição na produção de manga, mangostão e goiaba, atrás da Índia, da China, de Tailândia, da Indonésia, do México, e do Paquistão; e o principal destino de exportação é a União Europeia (FAO, 2015;

ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2016). No Brasil, em 2015, a quantidade de manga produzida foi de 976.815 T; a área colhida, de 64.305 ha; e o rendimento médio, de 15,19 T ha⁻¹, com destaque para o município de Petrolina, em Pernambuco, responsável por 18,24% da produção nacional do fruto, sendo os maiores produtores os Estados da Bahia, São Paulo e Pernambuco (IBGE, 2016).

A região Norte, em 2015, deteve a menor produção de manga do Brasil, representando apenas 0,23% (2293 T) da quantidade total produzida, enquanto que o Pará produziu apenas 138 T de manga e teve a produtividade média de frutos de 10,62 T ha⁻¹ (IBGE, 2016). Tal fato evidencia o elevado potencial econômico que a cultura da mangueira representa para o Brasil com amplas perspectivas de expansão, apresentando larga adaptação às condições edafoclimáticas em grande parte do território nacional.

Neste sentido, a mangueira poderia ser utilizada com prestadora de serviços ecossistêmicos de aprisionamento (produção de alimentos, captura de carbono e qualidade do solo); de regulação (regulação climática, proteção do solo – serapilheira); cultural (beleza cênica) e de suporte (ciclagem de nutrientes) (CORRÊA et al., 2006; RAPIDEL et al., 2011; PALMER; SILBER, 2012; ALMEIDA et al., 2014; GANESHAMURTHY; REDDY, 2015; KUMAR et al., 2015).

Esta tese foi desenvolvida no âmbito de dois projetos, o primeiro intitulado “Utilização de pomares de mangueira como alternativa para a reabilitação de áreas degradadas, visando à mitigação de possíveis cenários de mudanças climáticas locais e regionais” financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq – No. Processo 482732/2012-1), vigente entre 2013 e 2015; e o segundo projeto intitulado “Utilização da mangueira na agricultura familiar, visando à sustentabilidade e mitigação de cenários de mudanças climáticas locais e regionais” financiado pela Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA – No. Processo 136/149069-2014) vigente entre 2014 e 2017.

O pomar de mangueiras pode reabilitar áreas degradadas? Esta foi a questão motivadora desta tese que teve como objetivo geral avaliar um pomar de mangueiras como alternativa para reabilitação de áreas degradadas no nordeste paraense, Brasil. No desenvolvimento deste estudo foi possível testar três hipóteses:

- a) A sazonalidade das chuvas influencia nos atributos do solo em diferentes coberturas vegetais; e o pomar de mangueiras melhora a qualidade do solo quando comparado a áreas degradadas.

- b) O pomar de mangueiras produz serapilheira em maior quantidade e qualidade, além de permitir maior aporte nutricional por meio da decomposição mais eficiente, principalmente, na estação chuvosa, comparando com áreas em degradação.
- c) O pomar de mangueiras pode amenizar o microclima no sub-bosque quando comparado a uma área degradada.

Cada uma dessas hipóteses foram trabalhadas nos capítulos seguintes, de forma que a tese está composta por três capítulos.

O primeiro capítulo trata da influencia de fatores climáticos sobre a qualidade do solo. Este capítulo teve como objetivo avaliar a influência da sazonalidade das chuvas nos atributos do solo em diferentes coberturas vegetais no nordeste do Estado do Pará, Amazônia.

O segundo capítulo trata sobre ciclagem de nutrientes e da proteção do solo (serapilheira). Este capítulo teve como objetivo avaliar o aporte de nutrientes ao solo via serapilheira em pomar de mangueiras utilizado como alternativa para reabilitação de áreas degradadas, no nordeste paraense, Amazônia.

O terceiro capítulo trata sobre microclima e teve como objetivo comparar o microclima em sub-bosque de um pomar de mangueiras e uma área degradada, no município de Salinópolis, nordeste do Estado do Pará, Brasil.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C.X.; PITA JUNIOR, J.L.; ROZANE, D.E.; SOUZA, H.A.; HERNANDES, A.; NATALE, W.; FERRAUDO, A.S. Nutrient cycling in mango trees. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v.35, n.1, p.259-266, 2014. (doi: 10.5433/1679-0359.2014v35n1p259).

ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA 2016. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2016. 88p.

ARAGÃO, L.E.O.C.; MALHI, Y.; ROMAN-CUESTA, R.M.; SAATCHI, S.; ANDERSON, L.O.; SHIMABUKURO, Y.E. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. *Geophysical Research Letters*, Nova Jersey, v.34, n.7, p.1-5, 2007. (doi: 10.1029/2006GL028946).

BAKER, D.J.; HARTLEY, A.J.; BURGESS, N.D.; BUTCHART, S.H.M.; CARR, J.A.; SMITH, R.J.; BELLE, E.; WILLIS, S.G. Assessing climate change impacts for vertebrate fauna across the West African protected area network using regionally appropriate climate projections. *Diversity and Distributions*, Nova Jersey, v.21, n.9, p.991-1003, 2015. (doi: 10.1111/ddi.12337).

BLACH-OVERGAARD, A.; BALSLEV, H.; DRANSFIELD, J.; NORMAND, S.; SVENNING, J. Global-change vulnerability of a key plant resource, the African palms. *Scientific Reports*, Londres, v.5, n.12611, p.1-10, 2015. (doi: 10.1038/srep12611).

CHAZDON, R.L.; BRANCALION, P.H.S.; LAESTADIUS, L.; BENNETT-CURRY, A.; BUCKINGHAM, K.; KUMAR, C.; MOLL-ROCEK, J.; VIEIRA, I.C.G.; WILSON, S.J. When is a forest a forest? Forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration. *Ambio*, Nova Iorque, v.45, n.5, p. 538-550, 2016. (doi: 10.1007/s13280-016-0772-y).

COMTE, I.; DAVIDSON, R.; LUCOTTE, M.; CARVALHO, C.J.R.; OLIVEIRA, F.A.; SILVA, B.P.; ROUSSEAU, G.X. Physicochemical properties of soils in the Brazilian Amazon following fire-free land preparation and slash-and-burn practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Amsterdã, v.156, p.108-115, 2012. (doi: 10.1016/j.agee.2012.05.004).

CORRÊA, F.L.O.; RAMOS, J.D.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; MÜLLER, M.W. Produção de serapilheira em sistema agroflorestal multiestratificado no Estado de Rondônia, Brasil. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.30, n.6, p.1099-1105, 2006. (doi: 10.1590/S1413-70542006000600008).

COURTOIS, E.A.; MICHEL, E.; MARTINEZ, Q.; PINEAU, K.; DEWYNTER, M.; FICETOLA, G.F.; FOUQUET, A. Taking the lead on climate change: modelling and monitoring the fate of an Amazonian frog. *Oryx*, Cambridge, p.1-10, 2015. (doi: 10.1017/S0030605315000083).

CUNHA, G.A.P.; PINTO, A.C.Q.; FERREIRA, F.R. Origem, dispersão, taxonomia e botânica. In: GENU, P.J.C.; PINTO, A.C.Q. (eds). *A cultura da mangueira*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. p.31-36.

DORAN, J.W. Soil health and global sustainability: Translating science into practice. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdã, v.88, p.119-127, 2002. (doi: 10.1016/S0167-8809(01)00246-8).

EINLOFT, R.; RUIZ, H.A.; COSTA L.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; GRIFFITH, J.J.; SILVA JUNIOR, W.M.; PASSOS, R.R. Monitoramento em longo prazo da contenção vegetativa em talude rodoviário de saprolito de gnaíse em Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.37, n.1, p.260-270, 2013. (doi: 10.1590/S0100-06832013000100027).

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. *FAOSTAT*. 2015. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/>>. Acesso em: 21 nov. 2016.

FONSECA, A.; JUSTINO, M.; CARDOSO, D.; RIBEIRO, J.; SOUZA JÚNIOR, C.; VERÍSSIMO, A. *Boletim do desmatamento da Amazônia Legal*: Novembro de 2016. Belém: IMAZON, 2016. 1p.

GANESHAMURTHY, A.N.; REDDY, Y.T.N. Fitness of mango for colonization in low fertility soils and dry lands: Examination of leaf life-span, leaf nutrient resorption, and nutrient use efficiency in elite mango varieties. *Agricultural Research*, Nova Iorque, v.4, n.3, p.254-260, 2015. (doi: 10.1007/s40003-015-0164-8).

GARCÍA-PALACIOS, P.; MAESTRE, F.T.; KATTGE, J.; WALL, D.H. Climate and litter quality differently modulate the effects of soil fauna on litter decomposition across biomes. *Ecology Letters*, Nova Jersey, v.16, n.8, p.1045-1053, 2013. (doi: 10.1111/ele.12137).

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção Agrícola Municipal 2015*. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Projeto Prodes*: Monitoramento da Floresta Amazônica brasileira por satélite, 2016. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>>. Acesso em: 21 nov. 2016.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. 151p.

JIMÉNEZ-MUÑOZ, J.C.; MATTAR, C.; BARICHIVICH, J.; SANTAMARÍA-ARTIGAS, A.; TAKAHASHI, K.; MALHI, Y.; SOBRINO, J.A.; van der SCHRIER, G. Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015-2016. *Scientific Reports*, Londres, v.6, n.33130, p.1-7, 2016. (doi: 10.1038/srep33130).

KOSCHKE, L.; FÜRST, C; LORENZ, M.; WITT, A.; FRANK, S.; MAKESCHIN, F. The integration of crop rotation and tillage practices in the assessment of ecosystem services provision at the regional scale. *Ecological Indicators*, Amsterdã, v.32, p.157-171, 2013. (doi: 10.1016/j.ecolind.2013.03.008).

KUMAR, P.; SHARMA, S.D.; SHARMA, N.C.; DEVI, M. The path coefficient analysis of yield components for leaf nutrient concentrations in mango (*Mangifera indica* L.) under rainfed agroclimatic conditions of north-west Himalaya. *Scientia Horticulturae*, Amsterdã, v.190, p.31-35, 2015. (doi: 10.1016/j.scienta.2015.02.042).

LOUCA, M.; VOGIATZAKIS, I.N.; MOUSTAKAS, A. Modelling the combined effects of land use and climatic changes: Coupling bioclimatic modelling with Markov-chain cellular automata in a case study in Cyprus. *Ecological Informatics*, Amsterdã, v.30, p.241-249, 2015. (doi: 10.1016/j.ecoinf.2015.05.008).

MAIER, E.L.B.; COSTI, J.; BARREIRA, S.; SIMÕES, J.C. Precipitação na América do Sul: Médias climáticas e padrões da variabilidade no período entre 1979 e 2008. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v.09, n.01, p.032-046, 2016.

MARENGO, J.A.; CHOU, S.C.; KAY, G.; ALVES, L.M.; PESQUERO, J.F.; SOARES, W.; SANTOS, D.C.; LYRA, A.A.; SUEIRO, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D.J.; GOMES, J.L.; BUSTAMANTE, J.F.; TAVARES, P. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, Sao Francisco and the Parana River basins. *Climate Dynamics*, Nova Iorque, v.38, n.9, p.1829-1848, 2012. (doi: 10.1007/s00382-011-1155-5).

MARENGO, J.A.; ESPINOZA, J.C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology*, Nova Jersey, v.36, p.1033-1050, 2016. (doi: 10.1002/joc.4420).

MARTINS, S.V. *Recuperação de áreas degradadas: Ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração*. 3.ed. Viçosa: Aprenda Fácil,

2013. 264p.

ONU – United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015). *World Population Prospects: The 2015 Revision, DVD Edition*.

PALMER, C.; SILBER, T. Trade-offs between carbon sequestration and rural incomes in the N'hambita Community Carbon Project, Mozambique. *Land Use Policy*, Amsterdã, v.29, n.1, p.83-93, 2012. (doi: 10.1016/j.landusepol.2011.05.007).

PHILANDER, S.G.; FEDOROV, A. Is El Niño sporadic or cyclic? *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, Nova Iorque, v.31, p.579-94, 2003. (doi: 10.1146/annurev.earth.31.100901.141255).

PIELKE SR., R.A. Land use and climate change. *Science*, Londres, v.310, n.5754, p.1625-1626, 2005. (doi: 10.1126/science.1120529).

QUESADA, C.A.; LLOYD, J.; ANDERSON, L.O.; FYLLAS, N.M.; SCHWARZ, M.; CZIMCZIK, C.I. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. *Biogeosciences*, Munique, v.8, n.6, p.1415-1440, 2011. (doi: 10.5194/bg-8-1415-2011).

RANGEL-VASCONCELOS, L.G.T.; KATO, O.R.; VASCONCELOS, S.S. Matéria orgânica leve do solo em sistema agroflorestal de corte e trituração sob manejo de capoeira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.47, n.8, p.1142-1149, 2012. (doi: 10.1590/S0100-204X2012000800015).

RAPIDEL, B.; DECLERCK, F.; LE COQ, J.; BEER, J. Introduction. In: _____. *Ecosystem services from agriculture and agroforestry: Measurement and payment*. Londres/Washington: Earthscan, 2011. p.1-15.

RECH, C.C.C.; SILVA, A.C.; HIGUCHI, P.; SCHIMALSKI, M.B.; PSCHIEDT, F.; SCHMIDT, A.B.; ANSOLIN, R.D.; BENTO, M.A.; MISSIO, F.F.; LOEBENS, R. Avaliação da restauração florestal de uma APP degradada em Santa Catarina. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v.22, n.2, p.194-203, 2015. (doi: 10.1590/2179-8087.083414).

SALOMÃO, R.P.; BRIENZA JUNIOR, S.; ROSA, N.A. Dinâmica de reflorestamento em áreas de restauração após mineração em unidade de conservação na Amazônia. *Revista Árvore*, Viçosa, v.38, n.1, p.1-24, 2014. (doi: 10.1590/S0100-67622014000100001).

SEENIVASAN, R.; PRASATH, V.; MOHANRAJ, R. Restoration of sodic soils involving chemical and biological amendments and phytoremediation by *Eucalyptus camaldulensis* in a

semiarid region. *Environmental Geochemistry and Health*, Nova Iorque, v.37, p.575-586, 2015. (doi: 10.1007/s10653-014-9674-8).

SILVA, J.P.S.; NASCIMENTO, C.W.A.; SILVA, D.J.; CUNHA, K.P.V.; BIONDI, C.M. Changes in soil fertility and mineral nutrition of mango orchards in São Francisco Valley, Brazil. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v.9, n.1, p.42-48, 2014. (doi: 10.5039/agraria.v9i1a3466).

SILVA, K.A.; MARTINS, S.V.; MIRANDA NETO, A.; CAMPOS, W.H. Semeadura direta com transposição de serapilheira como metodologia de restauração ecológica. *Revista Árvore*, Viçosa, v.39, n.5, p.811-820, 2015. (doi: 10.1590/0100-67622015000500004).

SIMÃO, S. *Manga*. Piracicaba: FEALQ, 2004. 270p. (Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz, v.16)

SINGH, B.K.; BARDGETT, R.D.; SMITH, P.; REAY, D.S. Microorganisms and climate change: terrestrial feedbacks and mitigation options. *Nature Reviews Microbiology*, Londres, v.8, p.779-790, 2010. (doi: 10.1038/nrmicro2439).

SOUSA, A.M.L.; ROCHA, E.J.P.; VITORINO, M.I.; SOUZA, P.J.O.P.; BOTELHO, M.N. Variabilidade espaço-temporal da precipitação na Amazônia durante eventos ENOS. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v.08, n.01, p.013-024, 2015.

STANTURF, J.A.; PALIK, B.J.; DUMROESE, R.K. Contemporary forest restoration: A review emphasizing function. *Forest Ecology and Management*, Amsterdã, v.331, p.292-323, 2014. (doi: 10.1016/j.foreco.2014.07.029).

SWANN, A.L.S.; LONGO, M.; KNOX, R.G.; LEE, E.; MOORCROFT, P.R. Future deforestation in the Amazon and consequences for South American climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdã, v.214-215, p.12-24, 2015. (doi: 10.1016/j.agrformet.2015.07.006).

2. INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE DAS CHUVAS NOS ATRIBUTOS DO SOLO EM DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NA AMAZÔNIA

Resumo: A degradação de áreas reduz a qualidade do solo; e os atributos edáficos são afetados por modificações ambientais, como a variação no volume de chuvas, em diferentes coberturas vegetais. Objetivou-se com este estudo avaliar a influência da sazonalidade das chuvas nos atributos do solo em diferentes coberturas vegetais no nordeste do Estado do Pará, Amazônia. O estudo foi realizado em Salinópolis, no Pará, Brasil. Foram avaliados 11 atributos químicos, físicos e biológicos do solo; estes foram monitorados no período de julho de 2014 a junho de 2016, em duas estações (menos chuvosa – outubro de 2014 e outubro de 2015 e chuvosa – abril de 2015 e abril de 2016), três ambientes (floresta, pomar de mangueiras e área degradada) e duas profundidades (0-5 e 5-10 cm). O El Niño influenciou negativamente nas chuvas da região durante os dois anos de estudo em diferentes intensidades. A sazonalidade de chuvas não influenciou nos atributos do solo nos ambientes estudados, na profundidade 0-5 cm, no entanto, a sazonalidade das chuvas influenciou os atributos do solo especialmente na profundidade 5-10 cm e na área degradada. O pomar de mangueiras não melhora a qualidade do solo quando comparado a áreas degradadas.

Palavras-chave: Áreas degradadas. Atributos biológicos do solo. Atributos físicos do solo. Atributos químicos do solo. Pomar de mangueiras.

INFLUENCE OF SEASONAL RAINFALL IN SOIL ATTRIBUTES COVERAGE IN DIFFERENT VEGETABLES ON AMAZON

Abstract: Degradation of areas reduces soil quality; and soil attributes are affected environmental changes such as variations in rainfall in different vegetation cover. The objective of this study was to evaluate the influence of rainfall seasonality on soil attributes in different vegetation cover in the northeast of the State of Pará, Amazônia. The study was conducted in Salinópolis, Pará, Brazil. We evaluated 11 chemical, physical and biological attributes of the soil; these were monitored in the period from July 2014 to June 2016, in two seasons (less rainy – October 2014 and October 2015 and rainy – April 2015 and April 2016), three environments (forest, mango orchard and degraded area) and two depths (0-5 and 5-10 cm). El Niño had a negative influence on rainfall in the region during the two years of study at different intensities. The seasonality of rainfall did not influence soil attributes in the studied environments, at 0-5 cm depth, however, rainfall seasonality influenced soil attributes especially at 5-10 cm depth and degraded area. Mango orchards do not improve soil quality when compared to degraded areas.

Key words: Degraded areas. Biological attributes of soil. Physical attributes of soil. Chemical attributes of soil. Mango orchard.

2.1 INTRODUÇÃO

Na Amazônia, um dos principais sistemas de uso da terra é a agricultura de corte e queima, alternando ciclos de cultivo e pousio; sendo este último processo lento e gradativo, que serve para recuperar a fertilidade do solo. Esta prática proporciona mudanças significativas na cobertura vegetal em diversas áreas. Em longo prazo, provoca o empobrecimento dos atributos do solo, promovendo a degradação edáfica da região (COMTE et al., 2012; RANGEL-VASCONCELOS et al., 2012).

Os atributos do solo, principalmente, os biológicos, também são afetados por modificações ambientais, como a variação no volume de chuvas, pois estes constituem indicadores sensíveis às alterações ambientais (SINGH et al., 2010); em conjunto com os atributos químicos e físicos do solo constituem as propriedades edáficas que estão estritamente ligadas à qualidade do solo para manter o equilíbrio ambiental e promover a saúde de plantas e animais e do próprio ser humano (DORAN, 2002).

Espécies arbóreas que possuam maior densidade de raízes e enraizamento em profundidade promovem maior exploração do solo, permitindo trazer nutrientes que estão no subsolo para a superfície através da ciclagem de nutrientes, além de proporcionar maior superfície para captura de carbono (BARDGETT et al., 2014), promovendo a melhoria na qualidade do solo. Estes atributos predisõem o uso de espécies arbóreas não nativas à reabilitação florestal (CHAZDON et al., 2016).

A mangueira (*Mangifera indica* L.) é uma espécie arbórea que sobrevive bem aos períodos de seca e em solos com pouca fertilidade (GANESHAMURTHY; REDDY, 2015); além de prestar serviços ecossistêmicos, como a captura de carbono (PALMER; SILBER, 2012), a proteção do solo (CORRÊA et al., 2006), a ciclagem de nutrientes (ALMEIDA et al., 2014) e a produção de alimentos (KUMAR et al., 2015).

Diante do exposto objetivou-se com este estudo avaliar a influência da sazonalidade das chuvas nos atributos do solo em diferentes coberturas vegetais no nordeste do Estado do Pará, Amazônia; a hipótese testada foi que: (a) A sazonalidade das chuvas influencia nos atributos do solo em diferentes coberturas vegetais, e (b) O pomar de mangueiras melhora a qualidade do solo quando comparado a áreas degradadas.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no município de Salinópolis, nordeste do Estado do Pará, Brasil (Figura 2.1). O solo da região foi classificado como Latossolo Amarelo Distrófico (EMBRAPA, 2013). A classificação climática é Am, conforme Köppen, tropical chuvoso com pequeno período de estiagem (ALVARES et al., 2013). A região apresenta temperatura e umidade relativa média do ar de 27 °C e 83%, respectivamente; velocidade dos ventos e insolação média de 1,75 m s⁻¹ e 2100 h, nesta ordem; e precipitação média anual de 2750 mm, com concentração das chuvas entre os meses de janeiro e junho (RAMOS et al., 2009).

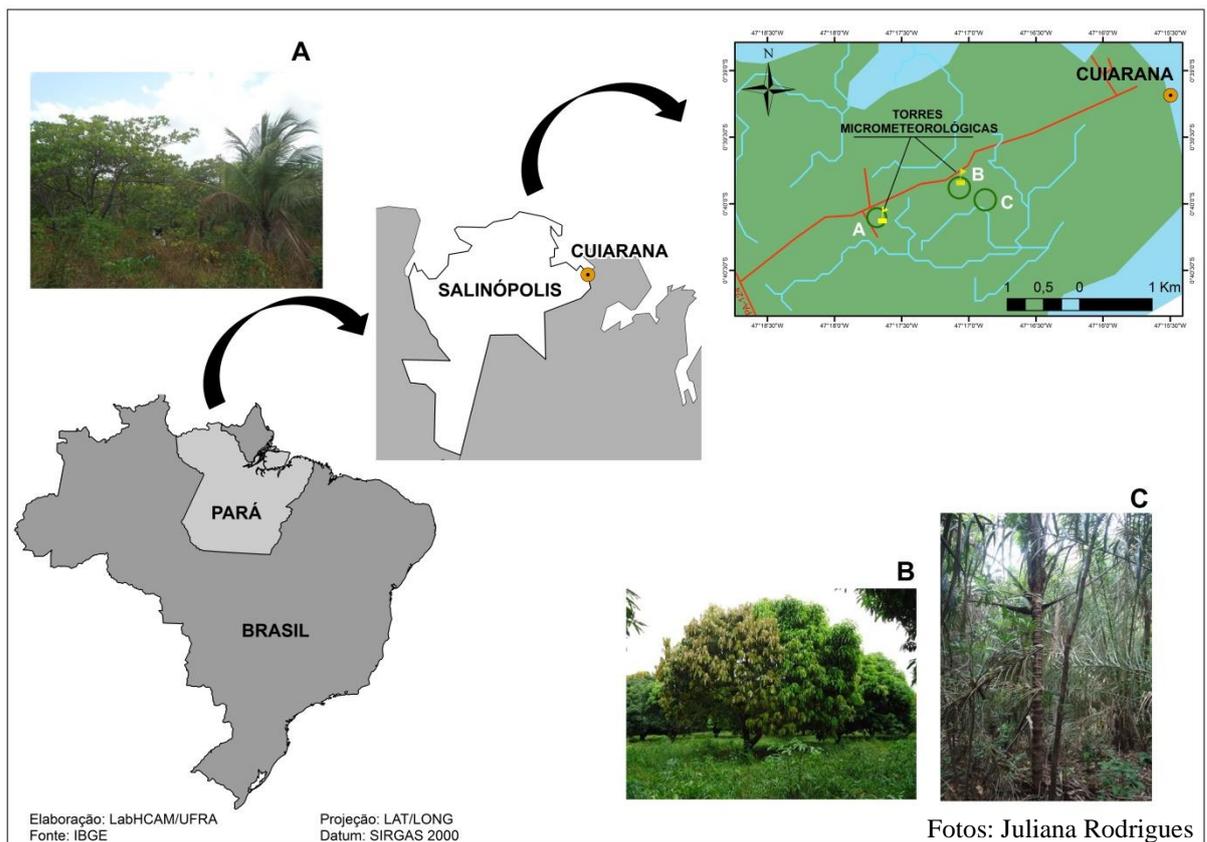


Figura 2.1. Mapa de localização da área de estudo, em Salinópolis, Pará. (A) Área degradada; (B) Pomar de mangueiras; (C) Floresta.

O estudo foi realizado em três áreas: floresta (FL), pomar de mangueiras (PM) e área degradada (AD); apenas a FL e o PM são adjacentes. A floresta (00°39'52,61"S, 47°17'01,89"W), considerada área controle, é um remanescente de Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras (IBGE, 2012), caracterizada por um sub-bosque onde predominam o babaçu

(*Attalea speciosa* Mart. Ex Spreng.), o inajá (*Attalea maripa* (Aubl.) Mart.), o tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) e várias espécies de lianas, entre outras.

O pomar de mangueiras variedade Tommy Atkins (00°39'50,50"S, 47°17'04,10"W) foi implantado entre 1991 e 1993, em consórcio com a cultura da graviola (*Annona muricata* L.). Depois o pomar foi abandonado. A partir de 2003 foi realizada a limpeza da área com a queima de restos culturais. Este processo extinguiu as plantas de graviola. Atualmente, o pomar possui área total de 25 ha cultivado em sistema não irrigado, em espaçamento de 10 x 10 m. A produtividade média de frutos no pomar é de 15,66 T ha⁻¹ (RODRIGUES et al., 2013).

Antes do início do experimento, em 2012, foram realizadas coletas e análises de solo e foliar no PM. Os resultados da análise foliar foram: N, 15,47 g kg⁻¹; P, 1,07 g kg⁻¹; K, 7,94 g kg⁻¹; Ca, 17,24 g kg⁻¹; Mg, 3,84 g kg⁻¹; S, 1,61 g kg⁻¹; B, 39,6 mg kg⁻¹; Cu, 8,5 mg kg⁻¹; Fe, 31,07 mg kg⁻¹; Mn, 219,06 mg kg⁻¹; Zn, 14,35 mg kg⁻¹. Os resultados da análise de solos na profundidade 0-20 cm foram: pH, 4,8; Ca, 1,3 cmol_c dm⁻³; Mg, 0,7 cmol_c dm⁻³; K, 0,1 cmol_c dm⁻³; H+Al, 2,8 cmol_c dm⁻³; P, 4,0 mg dm⁻³; MO, 22,0 g kg⁻¹; S, 2,1 cmol_c dm⁻³; CTC, 4,9 cmol_c dm⁻³; e V, 42%. Para profundidade 20-40 cm os resultados foram: pH, 4,3; Ca, 0,6 cmol_c dm⁻³; Mg, 0,5 cmol_c dm⁻³; K, 0,0 cmol_c dm⁻³; H+Al, 2,8 cmol_c dm⁻³; P, 2,0 mg dm⁻³; MO, 15,0 g kg⁻¹; S, 1,1 cmol_c dm⁻³; CTC, 3,9 cmol_c dm⁻³; e V, 29%.

Com os resultados das análises de solo e foliar, em 2013, foi recomendada a calagem para o PM com aplicação de 2 T ha⁻¹ de calcário dolomítico (Ca – 1,003 cmol_c dm⁻³ e Mg – 0,644 cmol_c dm⁻³). Após 90 dias, foi realizada adubação a lanço com 146 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo (45% P₂O₅), antes do florescimento, e 102 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (60% K₂O), sendo aplicado em três parcelas idênticas nas seguintes épocas: antes do florescimento, após o pegamento e aos 50 dias após o pegamento dos frutos. A análise foliar no PM mostrou que não houve necessidade da aplicação de nitrogênio.

O local denominado área degradada (00°40'09,44"S, 47°17'47,58"W) possui histórico de uso na agricultura de corte e queima, para implantação de cajueiros (*Anacardium occidentale* L.) para fins comerciais. A área foi abandonada em 2012 devido à queda de produção. Nesta área se estabeleceu uma vegetação secundária em estágio inicial de sucessão, chamada de capoeirinha (SALOMÃO et al., 2012). A área degradada é caracterizada pela perda de serviços ecossistêmicos anteriormente prestados, como o decréscimo na qualidade física e química do solo e menor proteção do solo através da reduzida produção de serapilheira quando comparado a FL; a AD apresenta elevada densidade global do solo, 1,86 g cm⁻³; pouca porosidade total, 27%; pequena quantidade de matéria orgânica, 12,85 g kg⁻¹; e

reduzida produção de serapilheira, 3,81 Mg ha ano⁻¹; enquanto que na floresta, foram determinados os seguintes valores: 1,70 g cm⁻³; 34%; e 23,39 g kg⁻¹, respectivamente, na profundidade 5-10 cm do solo, e 8,95 Mg ha ano⁻¹.

A textura do solo nos três ambientes em ambas as profundidades estudadas é arenosa, com exceção da profundidade 0-5 cm da AD onde a textura é média. Na floresta, a granulometria determinada foi de 82% de areia, 10% de silte e 8% de argila, na profundidade 0-5 cm, e de 80% de areia, 11% de silte e 9% de argila, na profundidade 5-10 cm. No pomar de mangueiras, foi obtida a granulometria na profundidade 0-5 cm de 80% de areia, 14% de silte e 6% de argila, e na profundidade 5-10 cm foram obtidos, 80% de areia, 17% de silte e 3% de argila. Na profundidade 0-5 cm da área degradada foi observada a granulometria de 78% de areia, 10% de silte e 12% de argila, e na profundidade de 5-10 cm da AD foi registrada a granulometria de 87% de areia, 9% de silte e 4% de argila.

2.2.2 Coleta de dados meteorológicos

As chuvas foram monitoradas diariamente por um pluviômetro (TB4, *Campbell Scientific*), instalado em uma torre micrometeorológica com dez metros de altura. O sensor esteve conectado ao sistema automático de coleta de dados, datalogger (CR1000, *Campbell Scientific*), realizando leituras do sensor a cada dez segundos e armazenamento dos totais a cada dez minutos. O monitoramento ocorreu no período de julho de 2014 e junho de 2016.

Para analisar a tendência de ocorrência de meses com anomalias, ou seja, acima ou abaixo da normal climatológica vigente, foi realizado o cálculo da anomalia para cada mês estudado conforme equação descrita por Silva et al. (2010): $A = (x - x_i)$, onde A é o valor total da precipitação do mês com anomalia (mm), x é a precipitação mensal medida no local (mm), e x_i é a precipitação da normal climatológica (mm) do referido período.

2.2.3 Amostragem de solos

Em cada ambiente foi delimitada uma parcela de 100 x 100 m; as coletas foram realizadas em pontos distribuídos aleatoriamente na parcela. As coletas de solo foram realizadas durante dois anos (2014-2015 e 2015-2016); em duas estações distintas, conforme Marengo et al. (2001), estação menos chuvosa (EMC) (outubro de 2014 e outubro de 2015), e estação chuvosa (EC) (abril de 2015 e abril de 2016); em três ambientes (FL, PM e AD), nas profundidades 0-5 e 5-10cm, com quatro repetições espaciais e duas repetições temporais

(duas épocas de coleta na estação menos chuvosa e duas épocas de coleta na estação chuvosa).

As amostras deformadas do solo foram coletadas em duas mini trincheiras medindo 30 x 30 x 35 cm; em cada mini trincheira foi obtida uma amostra simples de solo; estas amostras foram misturadas e retirada uma amostra composta de solo, nas profundidades citadas, para posterior análises químicas, físicas e biológicas. As amostras indeformadas do solo foram coletadas entre as mini trincheiras com trado para coleta indeformada do solo, nas profundidades citadas, para análise de densidade do solo. No pomar de mangueiras as coletas de solo foram realizadas sobre a área da copa a 2,0 m do tronco.

2.2.4. Análise de solos

As amostras deformadas de solo utilizadas nas análises químicas e físicas foram secas em estufa a 60 °C até a secagem das amostras, e passadas em peneiras (malha de 2,0 mm). As análises químicas foram realizadas conforme Silva et al. (2009): pH em água (1:2,5); cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) trocáveis, extraídos com solução de cloreto de potássio (KCl) 1 mol L⁻¹, sendo que o cálcio e o magnésio foram determinados pelo método complexométrico com o emprego de EDTA, enquanto que o alumínio foi determinado através de titulação com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,025 mol L⁻¹; fósforo (P) disponível, extraídos com solução ácida (Mehlich 1), sendo o fósforo foi quantificado por colorimetria; acidez potencial (H+Al), extraído com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,1-7,2 e determinado através de titulação com solução de NaOH 0,025 mol L⁻¹; e a matéria orgânica do solo (MOS), obtido pelo teor de carbono orgânico determinado por oxidação via úmida (método volumétrico).

As análises físicas foram realizadas conforme Camargo et al. (2009). As variáveis físicas de solo analisadas foram: a densidade global do solo (Dg) determinada pelo método do anel volumétrico; a densidade de partícula do solo (Dp) obtida pelo método do balão volumétrico; a umidade do solo (US) com base no volume; e a porosidade total do solo (Pt), por meio da equação: $Pt = 1 - (Dg/Dp) * 100$.

As amostras de solo destinadas as análises biológicas foram acondicionadas em sacos de plástico, protegidas da radiação solar e mantidas em caixas de isopor com gelo até a chegada ao laboratório; em seguida, foram peneiradas em peneiras (2,0 mm de malha), acondicionadas em sacos de plástico e mantidas em câmara fria (±4 °C). As análises biológicas realizadas foram: carbono da biomassa microbiana (CBM) pelo método da

irradiação com micro-ondas (ISLAM; WEIL, 1998) e a respiração basal do solo (RBS) (adaptação do método de Jenkinson e Powlson, 1976), com incubação do solo, em laboratório, por dez dias em frasco com NaOH para captura do dióxido de carbono (CO₂).

As análises químicas, físicas e biológicas do solo foram realizadas no Laboratório de Fertilidade de Solo; no Laboratório de Física do Solo, e no Laboratório de Microbiologia do Solo, respectivamente, ambos os laboratórios pertencem ao campus Belém da Universidade Federal Rural da Amazônia.

2.2.5. Análise estatística

Foi utilizada a estatística descritiva através de médias aritméticas e desvios-padrão das variáveis avaliadas. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. Os atributos do solo foram submetidos à análise de variância de medidas repetidas, e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas através do software Systat (Systat, versão 12.02).

Para a análise estatística multivariada foram utilizadas as técnicas de análise de agrupamentos hierárquica e de componentes principais (ACP). A análise de agrupamentos hierárquica foi realizada calculando-se a distância euclidiana entre os acessos para o conjunto de onze variáveis. Foi utilizado o algoritmo de Ward para a obtenção dos agrupamentos de acessos similares. Através desta análise, verificaram-se as similaridades entre as variáveis e as áreas avaliadas por meio dos agrupamentos homogêneos representados por um dendrograma de similaridade. Este dendrograma auxiliou na identificação dos agrupamentos dos acessos, sendo que os grupos foram definidos pela linha paralela ao eixo horizontal.

A análise de componentes principais foi utilizada para reduzir o número de variáveis para um conjunto que melhor represente este estudo. Esta análise sofre influência das distintas grandezas das variáveis, por isso, os valores originais foram normalizados para tenham a média zero e a variância igual a um (MANLY, 2008). O novo conjunto de variáveis foi constituído pelos componentes, identificando as variáveis pertencentes a cada componente e o quanto cada variável explica cada componente. Desta forma, o conjunto inicial de onze variáveis passou a ser caracterizado por quatro novas variáveis ortogonais, constituídas pelas quatro primeiras componentes principais. Para seleção das componentes, o critério utilizado foi escolher aquelas que apresentaram autovalores acima de um e a variância acumulada estiver acima de 70%. No entanto, devido a impossibilidade da representação além da bidimensionalidade, apenas as CP 1 e 2 serão representadas graficamente. A projeção dessas componentes em figuras bidimensionais é possível devido às combinações lineares das

variáveis originais criadas entre os dois maiores autovalores da matriz de covariância dos dados (HAIR et al., 2009). As análises estatísticas multivariadas foram realizadas através do software Minitab (Minitab, versão 14.12.0).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1. Variabilidade temporal das chuvas

As chuvas variaram acentuadamente durante este estudo, apresentando maior volume no ano compreendido entre julho de 2014 e junho de 2015 (ano 2014-2015), 2472 mm, e menor volume no ano compreendido entre julho de 2015 e junho de 2016 (ano 2015-2016), 1302 mm (Figura 2.2). As chuvas se concentraram na EC (dezembro a maio) (2195 mm no ano 2014-2015 e 1122 mm no ano 2015-2016); e os menores volumes foram registrados na EMC (junho a novembro) (276 mm no ano 2014-2015 e 179 mm no ano 2015-2016).

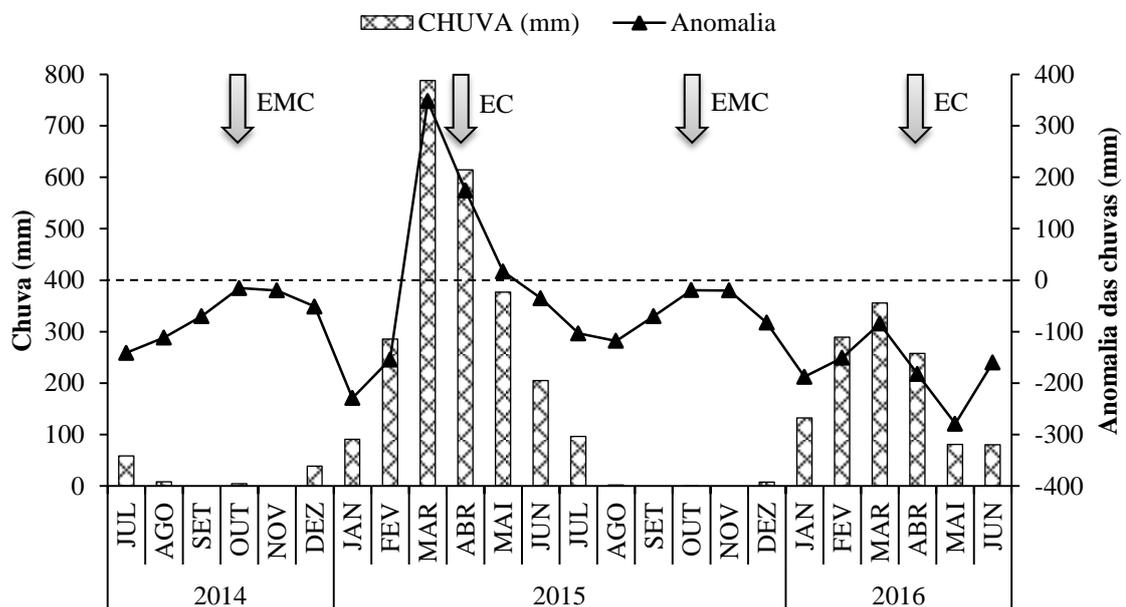


Figura 2.2. Variabilidade e anomalia das chuvas no período de julho de 2014 a junho de 2016, Salinópolis, Pará. A linha tracejada indica a normal climatológica. As setas indicam as épocas de coleta de solos. EMC: Estação menos chuvosa; EC: Estação chuvosa.

As chuvas na Amazônia possuem variabilidade sazonal e interanual (MARENGO et al., 2001). Essa variação pode ser tornar mais acentuada devido à ocorrência e a intensidade

do fenômeno oceano-atmosfera El Niño; na Amazônia, o volume de chuvas é reduzido (SOUSA et al., 2015).

O estudo da anomalia das chuvas mostrou que no período entre julho de 2014 e junho de 2016 (24 meses), as chuvas estiveram abaixo da normal climatológica de 1961-1990 para a região de Salinópolis (RAMOS et al., 2009), durante 21 meses (julho de 2014 a fevereiro de 2015 e junho de 2015 a junho de 2016); apenas no período de três meses (março a maio de 2015), as chuvas estiveram acima da normal climatológica da região (Figura 2.2).

Durante os dois anos abrangidos por este estudo houve a ocorrência do El Niño em diferentes intensidades (NOAA, 2016); este fenômeno pode ser percebido no local durante os 21 meses em que as chuvas estiveram abaixo da normal climatológica da região (Figura 2.2). Por isso, o volume de chuvas local foi muito reduzido.

2.3.2. Caracterização dos atributos do solo

2.3.2.1. Atributos do solo na profundidade 0-5 cm

Houve diferença do pH no solo entre as estações ($p = 0,001$) e os ambientes ($p < 0,001$) (Tabela 2.1). Em ambas as estações, o pH no solo foi diferente entre os ambientes estudados; os maiores valores de pH no solo foram registrados no PM (6,29, na EMC e 6,46, na EC), seguido da AD (5,07, na EMC e 5,57, na EC) e da FL (4,56, na EMC e 5,08, na EC) (Tabela 2.2).

Os teores de cálcio no solo foram diferentes entre os ambientes ($p < 0,001$) e a interação estação e ambiente ($p = 0,008$) (Tabela 2.1). Estes teores foram menores e similares na FL ($0,69 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EMC e $1,20 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EC) e na AD ($0,70 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EMC e $0,56 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EC) do que no PM ($3,91 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EMC e $3,28 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EC), em ambas as estações (Tabela 2.2).

Houve diferença nos teores de magnésio no solo entre as estações ($p = 0,043$) e os ambientes ($p < 0,001$) (Tabela 2.1). Na estação menos chuvosa, os teores de magnésio no solo foram menores e similares na FL ($0,64 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e na AD ($0,34 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em relação ao PM ($1,63 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), enquanto que na EC, estes teores foram diferentes entre os ambientes estudados (FL – $1,21 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; PM – $1,70 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; AD – $0,46 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (Tabela 2.2).

Os teores de alumínio no solo foram diferentes entre as estações ($p = 0,013$) e os ambientes ($p < 0,001$) (Tabela 2.1). Em ambas as estações, os teores de alumínio no solo foram diferentes entre os ambientes estudados; os maiores teores foram obtidos na FL ($1,56 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EMC e $0,91 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EC), seguido da AD ($0,34 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EMC e $0,46 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EC) e do PM ($0,00 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em ambas as estações) (Tabela 2.2).

Tabela 2.1. Valores de F e os níveis de significância associados aos efeitos das estações (menos chuvosa e chuvosa), dos ambientes (floresta, pomar de mangueiras e área degradada), e sua interação sobre os atributos do solo, em Salinópolis, Pará.

Atributo	Estação	Ambiente	Estação x ambiente
Profundidade 0-5 cm			
pH	16,89***	88,44***	1,36 ^{ns}
Ca	0,45 ^{ns}	205,35***	6,37**
Mg	4,75*	39,79***	1,84 ^{ns}
Al	7,52*	38,69***	2,67 ^{ns}
H+Al	1,01 ^{ns}	126,88***	1,75 ^{ns}
P	10,56**	17,19***	6,49**
MOS	0,04 ^{ns}	59,51***	2,75 ^{ns}
Dg	36,96***	33,14***	4,95*
Pt	23,15***	26,06***	3,45 ^{ns}
CBM	5,02*	0,91 ^{ns}	0,60 ^{ns}
RBS	5,94*	4,92*	1,02 ^{ns}
Profundidade 5-10 cm			
pH	19,40***	69,99***	1,25 ^{ns}
Ca	0,00 ^{ns}	61,35***	0,62 ^{ns}
Mg	5,65*	129,09***	1,74 ^{ns}
Al	15,32***	198,91***	2,21 ^{ns}
H+Al	0,94 ^{ns}	64,85***	0,30 ^{ns}
P	0,08 ^{ns}	9,04**	0,54 ^{ns}
MOS	3,31 ^{ns}	138,79***	0,24 ^{ns}
Dg	2,57 ^{ns}	6,25**	0,03 ^{ns}
Pt	0,01 ^{ns}	4,86*	0,18 ^{ns}
CBM	3,01 ^{ns}	4,78*	2,46 ^{ns}
RBS	0,55 ^{ns}	7,06**	4,56*

pH: Potencial hidrogênico; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Al: Alumínio; H+Al: Acidez potencial; P: Fósforo; MOS: Matéria orgânica do solo; Dg: Densidade do solo; Pt: Porosidade total do solo; CBM: Carbono da biomassa microbiana do solo; RBS: Respiração basal do solo. O nível de significância é indicado (*: $p \leq 0,05$, **: $p \leq 0,01$, ***: $p \leq 0,001$, ns: não significativo).

Tabela 2.2. Atributos químicos, físicos e biológicos em solos de floresta, pomar de mangueiras e área degradada nas estações menos chuvosa e chuvosa, na profundidade 0-5 cm, em Salinópolis, Pará.

Atributo	EMC			EC		
	FL	PM	AD	FL	PM	AD
pH (H ₂ O) (1:2,5)	4,56 ± 0,40 A	6,29 ± 0,37 B	5,07 ± 0,22 C	5,08 ± 0,32 A	6,46 ± 0,34 B	5,57 ± 0,34 C
Ca (cmol dm ⁻³)	0,69 ± 0,49 A	3,91 ± 1,21 B	0,70 ± 0,16 A	1,20 ± 0,57 A	3,28 ± 0,81 B	0,56 ± 0,39 A
Mg (cmol dm ⁻³)	0,64 ± 0,31 A	1,63 ± 0,65 B	0,34 ± 0,12 A	1,21 ± 0,52 A	1,70 ± 0,31 B	0,46 ± 0,11 C
Al (cmol dm ⁻³)	1,56 ± 0,60 A	0,00 ± 0,00 B	0,68 ± 0,29 C	0,91 ± 0,34 A	0,00 ± 0,00 B	0,38 ± 0,33 C
H+Al (cmol dm ⁻³)	8,07 ± 1,54 A	3,65 ± 1,43 B	5,07 ± 0,97 B	8,99 ± 1,22 A	3,73 ± 0,80 B	4,84 ± 1,36 C
P (mg dm ⁻³)	0,63 ± 0,33 A	0,56 ± 0,35 A	0,45 ± 0,10 A	0,94 ± 0,44 A	0,96 ± 0,28 A	0,34 ± 0,35 B
MOS (g kg ⁻¹)	22,41 ± 5,15 A	23,93 ± 5,68 A	11,64 ± 2,53 B	25,52 ± 4,18 A	21,15 ± 3,77 A	10,69 ± 5,67 B
Dg (g cm ⁻³)	1,53 ± 0,13 A	1,61 ± 0,28 AB	1,97 ± 0,38 B	1,40 ± 0,11 A	1,48 ± 0,09 A	1,61 ± 0,06 B
Pt (%)	41 ± 4 A	37 ± 10 AB	25 ± 14 B	45 ± 3 A	41 ± 4 A	37 ± 2 B
CBM (mg kg ⁻¹)	111,14 ± 64,85 A	115,52 ± 44,76 A	99,09 ± 54,36 A	100,30 ± 53,52 A	75,23 ± 36,13 A	76,06 ± 15,47 A
RBS (mg kg ⁻¹)	130,71 ± 117,09 A	213,83 ± 111,07 A	113,66 ± 82,11 A	100,21 ± 50,19 A	128,46 ± 60,36 A	89,12 ± 58,20 A

EMC: Estação menos chuvosa; EC: Estação chuvosa; FL: Floresta; PM: Pomar de mangueiras; AD: Área degradada; pH: Potencial hidrogênico; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Al: Alumínio; H+Al: Acidez potencial; P: Fósforo; MOS: Matéria orgânica do solo; Dg: Densidade do solo; Pt: Porosidade total do solo; CBM: Carbono da biomassa microbiana do solo; RBS: Respiração basal do solo. Ca, Mg e Al: extrator KCl 1 mol L⁻¹; H+Al: determinado por acetato de cálcio 0,5 1 mol L⁻¹ a pH 7,1-7,2; P: extrator Mehlich 1; MOS: matéria orgânica (método volumétrico) (SILVA et al., 2009); Dg: método do anel (CAMARGO et al., 2009); CBM: método da irradiação por micro-ondas (ISLAM; WEIL, 1998); RBS: método da incubação em laboratório (adaptação do método de Jenkinson e Powlson, 1976).

Houve diferença nos teores de acidez potencial no solo apenas entre os ambientes ($p < 0,001$) (Tabela 2.1). Na estação menos chuvosa, os teores de acidez potencial no solo foram menores e similares no PM ($3,65 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e na AD ($5,07 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) do que na FL ($8,07 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); enquanto que na EC, estes teores foram diferentes entre os ambientes estudados, os maiores teores foram obtidos na FL ($8,99 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), seguido da AD ($4,84 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e do PM ($3,73 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (Tabela 2.2).

Os teores de fósforo no solo foram diferentes entre as estações ($p = 0,004$), os ambientes ($p < 0,001$) e a interação estação e ambiente ($p = 0,008$) (Tabela 2.1). A diferença nos teores de fósforo no solo entre os ambientes foi observada apenas na EC, onde estes teores foram maiores e similares na FL ($0,94 \text{ mg dm}^{-3}$) e no PM ($0,96 \text{ mg dm}^{-3}$) do que na AD ($0,34 \text{ mg dm}^{-3}$) (Tabela 2.2).

Houve diferença nos teores de matéria orgânica no solo apenas entre os ambientes ($p < 0,001$) (Tabela 2.1). Em ambas as estações, os teores de matéria orgânica no solo foram diferentes entre os ambientes estudados; os teores foram maiores e similares na FL ($22,41 \text{ g kg}^{-1}$, na EMC e $25,52 \text{ g kg}^{-1}$, na EC), e no PM ($23,93 \text{ g kg}^{-1}$, na EMC e $21,15 \text{ g kg}^{-1}$, na EC) em relação à AD ($11,64 \text{ g kg}^{-1}$, na EMC e $10,69 \text{ g kg}^{-1}$, na EC) (Tabela 2.2).

A densidade global do solo foi diferente entre as estações, os ambientes ($p < 0,001$) e a interação estação e ambiente ($p = 0,019$) (Tabela 2.1). Na estação menos chuvosa, a densidade global do solo foi menor e similar na FL ($1,53 \text{ g cm}^{-3}$) e no PM ($1,61 \text{ g cm}^{-3}$), e este último também foi similar a AD ($1,97 \text{ g cm}^{-3}$); enquanto que na EC, a densidade global do solo foi menor e similar na FL ($1,40 \text{ g cm}^{-3}$) e no PM ($1,48 \text{ g cm}^{-3}$) do que na AD ($1,61 \text{ g cm}^{-3}$) (Tabela 2.2).

Houve diferença na porosidade total do solo entre as estações e os ambientes ($p < 0,001$) (Tabela 2.1). Na estação menos chuvosa, a porosidade total do solo foi maior e similar na FL (41%) e no PM (37%), e este último também foi similar a AD (25%); enquanto que na EC, a porosidade total do solo foi maior e similar na FL (45%) e no PM (41%) do que na AD (37%) (Tabela 2.2).

Os teores de carbono da biomassa microbiana no solo foram diferentes apenas entre as estações ($p = 0,038$) (Tabela 2.1). Houve diferença na respiração basal do solo entre as estações ($p = 0,025$) e os ambientes ($p = 0,020$) (Tabela 2.1).

2.3.2.2. Atributos do solo na profundidade 5-10 cm

Houve diferença do pH no solo entre as estações e os ambientes ($p < 0,001$) (Tabela 2.1). Em ambas as estações, o pH no solo foi diferente entre os ambientes estudados; os maiores valores de pH no solo foram registrados no PM (5,83, na EMC e 6,03, na EC), seguido da AD (4,94, na EMC e 5,39, na EC) e da FL (4,41, na EMC e 4,93, na EC) (Tabela 2.3).

Os teores de cálcio no solo foram diferentes entre os ambientes ($p < 0,001$) (Tabela 2.1). Estes teores foram menores e similares na FL ($0,41 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EMC e $0,62 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EC) e na AD ($0,39 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EMC e $0,27 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EC) do que no PM ($2,06 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EMC e $1,98 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EC), em ambas as estações (Tabela 2.3).

Houve diferença nos teores de magnésio no solo entre as estações ($p = 0,029$) e os ambientes ($p < 0,001$) (Tabela 2.1). Na estação menos chuvosa, os teores de magnésio no solo foram menores e similares na FL ($0,42 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e na AD ($0,18 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em relação ao PM ($1,37 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), enquanto que na EC, estes teores foram diferentes entre os ambientes estudados (FL – $0,71 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; PM – $1,40 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; AD – $0,29 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (Tabela 2.3).

Os teores de alumínio no solo foram diferentes entre as estações ($p = 0,001$) e os ambientes ($p < 0,001$) (Tabela 2.1). Em ambas as estações, os teores de alumínio no solo foram diferentes entre os ambientes estudados; os maiores teores foram obtidos na FL ($1,88 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EMC e $1,48 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EC), seguido da AD ($1,00 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EMC e $0,70 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EC) e do PM ($0,11 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EMC e $0,04 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EC) (Tabela 2.3).

Houve diferença nos teores de acidez potencial no solo apenas entre os ambientes ($p < 0,001$) (Tabela 2.1). Em ambas as estações, os teores de acidez potencial no solo foram menores e similares no PM ($4,81 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EMC e $4,30 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EC) e na AD ($5,13 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EMC e $5,18 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EC) do que na FL ($9,28 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EMC e $8,73 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na EC) (Tabela 2.3).

Os teores de fósforo no solo foram diferentes entre os ambientes ($p = 0,002$) (Tabela 2.1). Na estação menos chuvosa, os teores de fósforo no solo foram maiores e similares na FL ($0,59 \text{ mg dm}^{-3}$) e no PM ($0,52 \text{ mg dm}^{-3}$), e este último também foi similar a AD ($0,22 \text{ mg dm}^{-3}$); enquanto que na EC, estes teores foram maiores e similares na FL ($0,59 \text{ mg dm}^{-3}$) e no PM ($0,68 \text{ mg dm}^{-3}$) em relação a AD ($0,15 \text{ mg dm}^{-3}$) (Tabela 2.3).

Tabela 2.3. Atributos químicos, físicos e biológicos em solos de floresta, pomar de mangueiras e área degradada nas estações menos chuvosa e chuvosa, na profundidade 5-10 cm, em Salinópolis, Pará.

Atributo	EMC			EC		
	FL	PM	AD	FL	PM	AD
	5-10 cm					
pH (H ₂ O) (1:2,5)	4,41 ± 0,32 A	5,83 ± 0,48 B	4,94 ± 0,17 C	4,93 ± 0,27 A	6,03 ± 0,27 B	5,39 ± 0,41 C
Ca (cmol dm ⁻³)	0,41 ± 0,38 A	2,06 ± 0,58 B	0,39 ± 0,12 A	0,62 ± 0,29 A	1,98 ± 0,57 B	0,27 ± 0,13 A
Mg (cmol dm ⁻³)	0,42 ± 0,17 A	1,37 ± 0,26 B	0,18 ± 0,14 A	0,71 ± 0,18 A	1,40 ± 0,22 B	0,29 ± 0,09 C
Al (cmol dm ⁻³)	1,88 ± 0,43 A	0,11 ± 0,16 B	1,00 ± 0,28 C	1,48 ± 0,53 A	0,04 ± 0,11 B	0,70 ± 0,64 C
H+Al (cmol dm ⁻³)	9,28 ± 1,55 A	4,81 ± 1,78 B	5,13 ± 0,77 B	8,73 ± 1,21 A	4,30 ± 0,95 B	5,18 ± 1,52 B
P (mg dm ⁻³)	0,59 ± 0,36 A	0,52 ± 0,36 AB	0,22 ± 0,07 B	0,59 ± 0,26 A	0,68 ± 0,18 A	0,15 ± 0,18 B
MOS (g kg ⁻¹)	23,24 ± 1,48 A	16,33 ± 3,41 B	9,72 ± 1,49 C	21,46 ± 2,83 A	15,39 ± 2,12 B	8,95 ± 4,45 C
Dg (g cm ⁻³)	1,65 ± 0,09 A	1,68 ± 0,09 A	1,82 ± 0,30 A	1,58 ± 0,14 A	1,63 ± 0,04 AB	1,75 ± 0,15 B
Pt (%)	36 ± 3 A	35 ± 4 A	32 ± 10 A	37 ± 4 A	35 ± 3 AB	31 ± 5 B
CBM (mg kg ⁻¹)	138,45 ± 41,98 A	125,89 ± 63,12 A	124,67 ± 61,55 A	158,41 ± 46,69 A	81,14 ± 37,99 B	75,00 ± 52,44 B
RBS (mg kg ⁻¹)	101,37 ± 74,80 AB	189,79 ± 127,50 A	43,38 ± 46,28 B	89,47 ± 37,07 A	109,89 ± 32,46 A	95,44 ± 38,02 A

EMC: Estação menos chuvosa; EC: Estação chuvosa; FL: Floresta; PM: Pomar de mangueiras; AD: Área degradada; pH: Potencial hidrogênico; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Al: Alumínio; H+Al: Acidez potencial; P: Fósforo; MOS: Matéria orgânica do solo; Dg: Densidade do solo; Pt: Porosidade total do solo; CBM: Carbono da biomassa microbiana do solo; RBS: Respiração basal do solo. Ca, Mg e Al: extrator KCl 1 mol L⁻¹; H+Al: determinado por acetato de cálcio 0,5 1 mol L⁻¹ a pH 7,1-7,2; P: extrator Mehlich 1; MOS: matéria orgânica (método volumétrico) (SILVA et al., 2009); Dg: método do anel (CAMARGO et al., 2009); CBM: método da irradiação por micro-ondas (ISLAM; WEIL, 1998); RBS: método da incubação em laboratório (adaptação do método de Jenkinson e Powlson, 1976).

Houve diferença nos teores de matéria orgânica no solo apenas entre os ambientes ($p < 0,001$) (Tabela 2.1). Em ambas as estações, os teores de matéria orgânica no solo foram diferentes entre os ambientes estudados; os teores foram maiores e similares na FL (23,24 g kg⁻¹, na EMC e 21,46 g kg⁻¹, na EC), e no PM (16,33 g kg⁻¹, na EMC e 15,39 g kg⁻¹, na EC) em relação à AD (9,72 g kg⁻¹, na EMC e 8,95 g kg⁻¹, na EC) (Tabela 2.3).

A densidade global do solo foi diferente apenas entre os ambientes ($p = 0,009$) (Tabela 2.1). A diferença na densidade global do solo entre os ambientes foi observada apenas na EC, a densidade global do solo foi menor e similar na FL (1,58 g cm⁻³) e no PM (1,63 g cm⁻³), e este último também foi similar a AD (1,75 g cm⁻³) (Tabela 2.3).

Houve diferença na porosidade total do solo apenas entre os ambientes ($p = 0,02$) (Tabela 2.1). A diferença na porosidade total do solo entre os ambientes foi observada apenas na EC, a porosidade total do solo foi maior e similar na FL (37%) e no PM (35%), e este último também foi similar a AD (31%) (Tabela 2.3).

Os teores de carbono da biomassa microbiana no solo foram diferentes apenas entre os ambientes ($p = 0,022$) (Tabela 2.1). A diferença nos teores de carbono da biomassa microbiana no solo entre os ambientes foi observada apenas na EC, estes teores foram menores e similares no PM (81,14 mg kg⁻¹) e na AD (75,00 mg kg⁻¹) do que na FL (158,41 mg kg⁻¹) (Tabela 2.3).

Houve diferença na respiração basal do solo entre os ambientes ($p = 0,005$) e a interação estação e ambiente ($p = 0,025$) (Tabela 2.3). A diferença na respiração basal do solo entre os ambientes foi observada apenas na EMC, a respiração basal do solo foi maior e similar na FL (101,37 mg kg⁻¹) e no PM (189,79 mg kg⁻¹), e este último também foi similar a AD (43,38 mg kg⁻¹) (Tabela 2.3).

2.3.3. Análise multivariada dos atributos do solo

Na análise de agrupamentos, na profundidade 0-5 cm, foram observados que durante a EMC e na EC os atributos do solo na FL e na AD foram semelhantes, pois possuem menor distância euclidiana (Figura 2.3). As características edáficas no PM foram similares na EMC e EC. A linha de corte mostra claramente a formação de dois grupos formados conforme a semelhança, ou seja, menor distância euclidiana entre as características edáficas: Grupo I (GI) formado pela FL e a AD, e o Grupo II (GII) formado pelo PM. Os resultados obtidos na profundidade 0-5 cm sugerem que as diferenças entre os atributos do solo ocorreram devido os diferentes ambientes; as distintas estações pouco influenciaram nestes atributos.

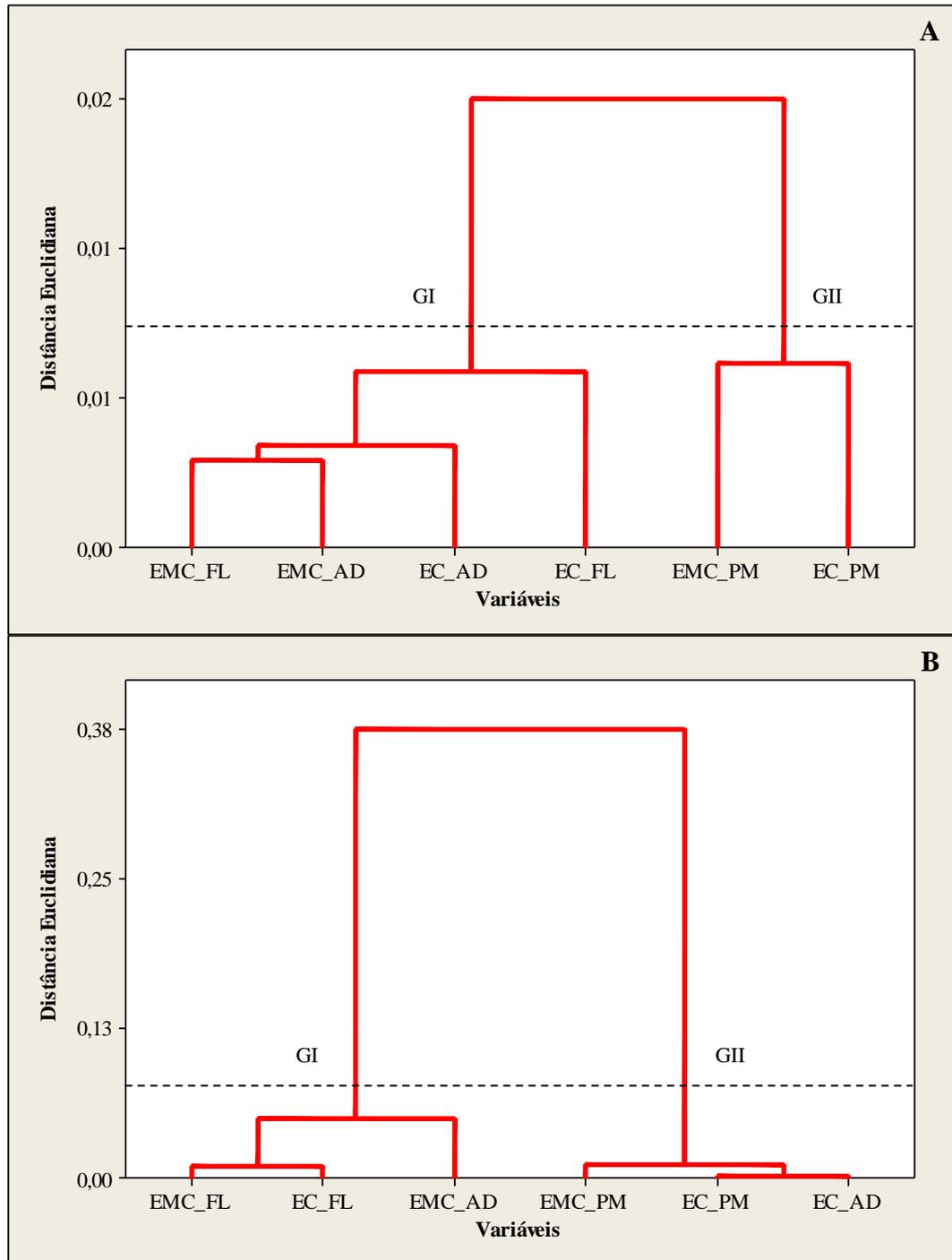


Figura 2.3. Dendrograma da análise de agrupamentos de duas estações (menos chuvosa e chuvosa) e três ambientes (floresta, pomar de mangueiras e área degradada), nas profundidades 0-5 cm (A) e 5-10 cm (B), em Salinópolis, Pará. GI: Grupo I; GII: Grupo II; EC_AD: Estação chuvosa e área degradada; EC_FL: Estação chuvosa e floresta; EC_PM: Estação chuvosa e pomar de mangueiras; EMC_AD: Estação menos chuvosa e área degradada; EMC_FL: Estação menos chuvosa e floresta; EMC_PM: Estação menos chuvosa e pomar de mangueiras.

Na profundidade 5-10 cm, a análise de agrupamentos teve resultado distinto da profundidade 0-5 cm; na camada atual do solo houve maior interação entre as estações e os ambientes na influencia sobre os atributos edáficos (Figura 2.3). De forma similar a profundidade anterior, a linha de corte mostrou a formação de dois grupos, GI e GII. O Grupo I foi formado pelo conjunto da FL onde os atributos do solo foram similares na EMC e na EC, e semelhantes à AD durante a EMC. O Grupo II foi composto pelo conjunto formado pela similaridade entre os atributos do solo do PM e da AD, e estes foram semelhantes ao PM durante a EMC.

Os distintos agrupamentos resultam nas diferenças observadas nos atributos do solo de cada ambiente em cada estação, permitindo uma análise mais holística da qualidade do solo nessas áreas. Os atributos edáficos proporcionaram o agrupamento dos ambientes conforme a similaridade destes atributos, assim como promoveram a distinção entre as áreas de estudo; estes agrupamentos foram evidenciados na ACP.

A análise de componentes principais confirma a análise de agrupamentos dos atributos do solo para os ambientes estudados. Houve a formação de três grupos, um para cada ambiente, sendo que a FL e a AD foram mais similares do que o PM, principalmente, na profundidade 0-5 cm (Figura 2.4a). Em ambas as profundidades, são notórias a pouca distinção entre os atributos do solo dentro de cada ambiente em relação à sazonalidade das chuvas (EMC e EC) (Figura 2.4a e 2.4b).

Neste contexto, a variância total é explicada pelas quatro primeiras componentes principais (CP1, CP2, CP3 e CP4), pois estas apresentaram autovalores maiores que um (HAIR et al., 2009), CP1 – 3,74; CP2 – 2,98; CP3 – 1,60; e CP4 – 1,12, na profundidade 0-5 cm, e CP1 – 4,12; CP2 – 2,88; CP3 – 1,65; e CP4 – 1,04, na profundidade 5-10 cm (Tabela 2.4). Isso mostra que, de onze atributos do solo, pode-se usar apenas quatro, reduzindo a dimensionalidade das variáveis originais. A redução no número de atributos do solo analisados leva a perda da explicação de 12 a 14%, nas profundidades 0-5 e 5-10 cm, respectivamente.

Quanto ao percentual de variância explicado pelas componentes principais, na profundidade 0-5 cm, a CP1 explicou 34% da variância total, enquanto que a CP2, CP3 e CP4, explicaram 27%, 15% e 10% da variância total, respectivamente; e na profundidade 5-10 cm, o percentual de variância total explicado pela CP1 foi 38%; na CP2, 26%; na CP3, 15%; e na CP4, 10% (Tabela 2.4).

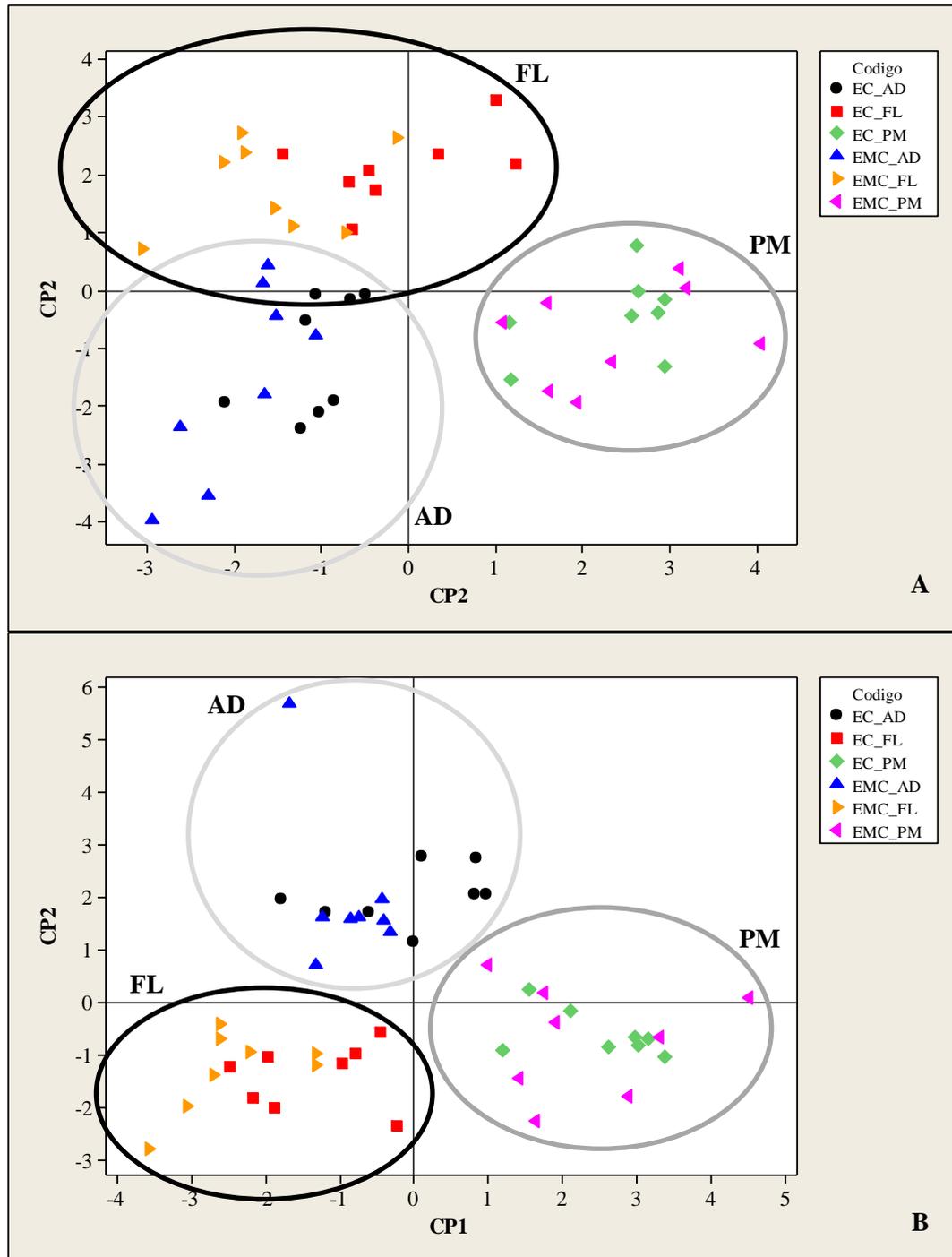


Tabela 2.4. Contribuição dos atributos do solo em cada componente principal nas profundidades 0-5 e 5-10 cm, em Salinópolis, Pará.

	Profundidade 0-5 cm			
	CP1	CP2	CP3	CP4
Autovalores	3,74	2,98	1,60	1,12
Proporção	0,340	0,270	0,146	0,101
Acumulado	0,340	0,610	0,756	0,857
Atributo	CP1	CP2	CP3	CP4
pH	<u>0,411</u>	-0,306	-0,081	0,112
Ca	<u>0,455</u>	-0,065	0,216	-0,213
Mg	<u>0,462</u>	0,104	0,032	-0,005
Al	-0,345	<u>0,356</u>	-0,033	-0,157
H+Al	-0,227	<u>0,469</u>	0,218	0,015
P	0,188	0,293	<u>0,539</u>	0,140
MOS	0,264	<u>0,371</u>	0,322	-0,254
Dg	-0,210	-0,374	<u>0,429</u>	-0,298
Pt	0,191	0,401	<u>-0,415</u>	0,281
CBM	0,001	0,084	-0,291	<u>-0,753</u>
RBS	0,233	0,120	-0,251	<u>-0,313</u>
	Profundidade 5-10 cm			
	CP1	CP2	CP3	CP4
Autovalores	4,12	2,88	1,65	1,04
Proporção	0,375	0,262	0,150	0,095
Acumulado	0,375	0,637	0,786	0,881
Atributo	CP1	CP2	CP3	CP4
pH	<u>0,475</u>	0,069	0,056	0,042
Ca	<u>0,407</u>	-0,217	-0,210	0,119
Mg	<u>0,383</u>	-0,298	-0,178	0,144
Al	<u>-0,459</u>	-0,117	-0,072	-0,040
H+Al	<u>-0,402</u>	-0,305	-0,093	-0,019
P	0,016	<u>-0,441</u>	-0,279	-0,165
MOS	-0,178	<u>-0,502</u>	-0,194	0,069
Dg	-0,088	0,362	<u>-0,582</u>	0,037
Pt	0,058	-0,369	<u>0,585</u>	0,027
CBM	-0,097	-0,031	-0,056	<u>0,936</u>
RBS	0,194	-0,198	<u>-0,328</u>	-0,213

CP1: Componente principal 1; CP2: Componente principal 2; CP3: Componente principal 3; CP4: Componente principal 4; pH: Potencial hidrogênico; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Al: Alumínio; H+Al: Acidez potencial; P: Fósforo; MOS: Matéria orgânica do solo; Dg: Densidade do solo; Pt: Porosidade total do solo; CBM: Carbono da biomassa microbiana do solo; RBS: Respiração basal do solo. O sublinhado indica a componente principal que teve maior contribuição do atributo do solo.

A correlação entre os atributos do solo e as componentes principais permitiu associar os atributos edáficos que mais se relacionaram a cada tipo de ambiente (Tabela 2.4). A componente principal 1 e a CP2 estão associadas aos atributos químicos do solo, a CP3 esta relacionada predominantemente aos atributos físicos do solo e a CP4 está associada, principalmente, aos atributos biológicos do solo.

A floresta esta associada aos teores de alumínio e a acidez potencial, em ambas as profundidades, e a matéria orgânica do solo, na profundidade 5-10 cm (Figura 2.4 e 2.5). Os

elevados teores destes atributos do solo são comuns em áreas de floresta na Amazônia, principalmente, quando localizados em solo do tipo Latossolo, onde predominam altos teores de alumínio quando comparado aos teores de cálcio, magnésio, potássio e sódio, e a elevada concentração de matéria orgânica, entre 12 e 22 g kg⁻¹ (QUESADA et al., 2011).

O pomar de mangueiras está associado ao pH, e os teores de cálcio e magnésio no solo, em ambas as profundidades (Figura 2.4 e 2.5). O pomar de mangueiras apresentou valores elevados para estas variáveis devido ao manejo de calagem e adubação aplicado na área antes do início do experimento, uma vez que este manejo foi suspenso durante este estudo para que não afetasse a resposta do solo ao ambiente. Em áreas agrícolas, os teores de nutrientes no solo são alterados conforme as recomendações e o manejo de calagem e adubação da cultura (SILVA et al., 2014), estes tratamentos culturais visam aumentar a produtividade e repor os nutrientes extraídos da planta pela poda e colheita.

A área degradada está relacionada à densidade do solo em ambas as profundidades (Figura 2.4 e 2.5). Os elevados valores de densidade do solo na AD estão associados a diferenças de textura do solo na profundidade 0-5 cm, que é média na AD, enquanto que nos demais ambientes prevalece a textura arenosa. Solos com texturas mais finas possuem naturalmente mais microporos, por isso, tem maior possibilidade de adensamento das partículas edáficas e, conseqüentemente, maior compactação do solo (YERGEAU; OBROPTA, 2013).

De modo geral, a FL e a AD foram semelhantes em relação à qualidade do solo, fato que pode estar relacionado à cobertura vegetal predominante, pois a FL é um remanescente de Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras (IBGE, 2012), e na AD se estabeleceu uma vegetação secundária em estágio inicial de sucessão, chamada de capoeirinha (SALOMÃO et al., 2012), ou seja, ambos os ambientes representam florestas em diferentes estágios sucessionais. Enquanto que o PM representou um ambiente diferenciado quando comparado aos demais ambientes, portanto, apresentou qualidade do solo distinta da FL e da AD.

A sazonalidade das chuvas influenciou na qualidade do solo de forma diferente para cada ambiente e profundidades estudadas. Em ambas as profundidades, a EMC permitiu mostrar a similaridade entre a FL e a AD. Na profundidade 0-5 cm, a variação no volume de chuvas mostrou a distinção do PM em relação aos demais ambientes. Na profundidade 5-10 cm, a EC possibilitou identificar as semelhanças entre os atributos do solo entre o PM e a AD.

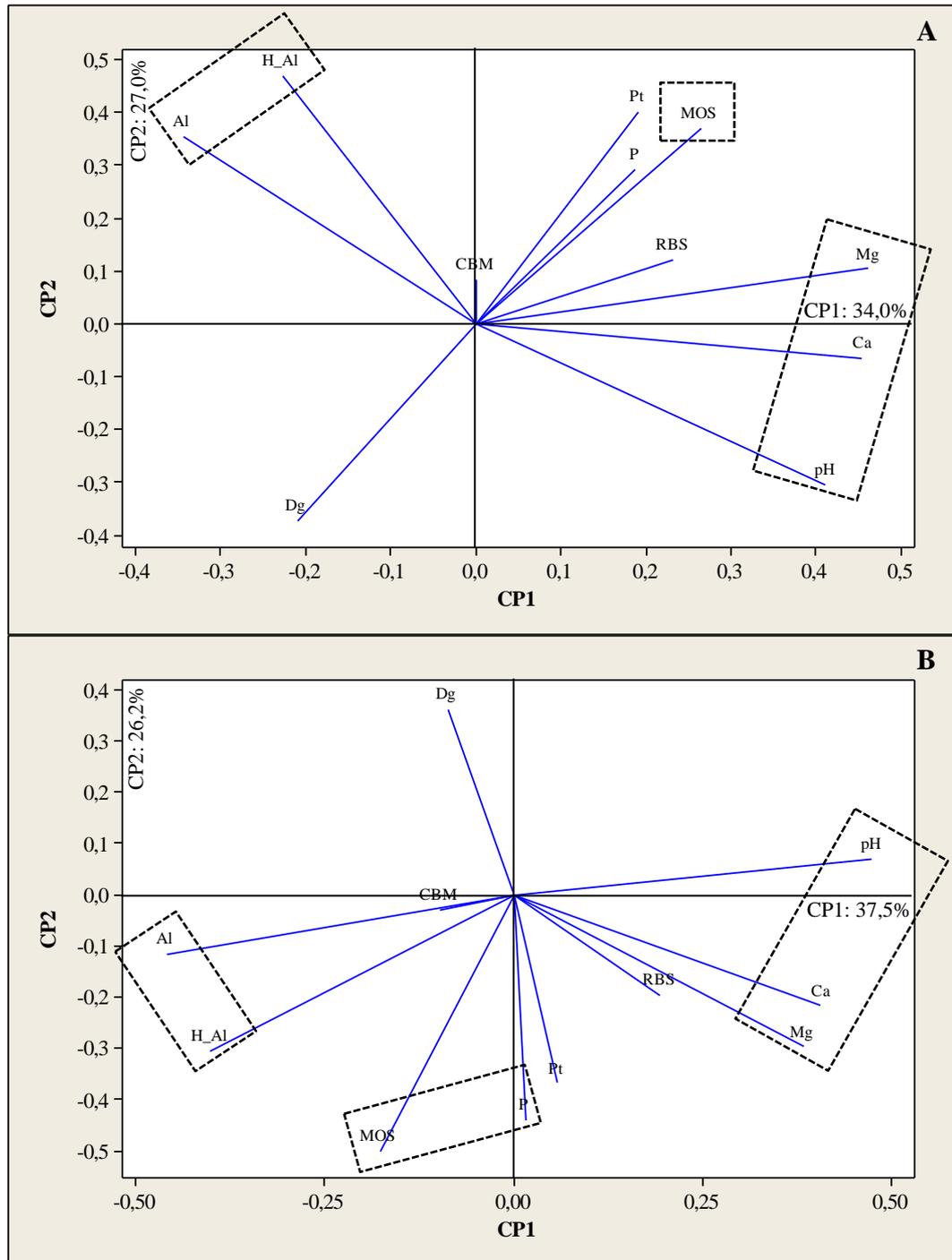


Figura 2.5. Análise de componentes principais (PCA) com base nos atributos do solo em três ambientes (floresta, pomar de mangueiras e área degradada), nas profundidades 0-5 cm (A) e 5-10 cm (B), em Salinópolis, Pará. CP1: Componente principal 1; CP2: Componente principal 2; pH: Potencial hidrogênico; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Al: Alumínio; H+Al: Acidez potencial; P: Fósforo; MOS: Matéria orgânica do solo; Dg: Densidade do solo; Pt: Porosidade total do solo; CBM: Carbono da biomassa microbiana do solo; RBS: Respiração basal do solo. Os quadrados destacados indicam os atributos do solo que tiveram maior contribuição para as componentes principais 1 e 2.

2.4 CONCLUSÕES

- a) A sazonalidade das chuvas influenciou os atributos do solo especialmente na profundidade 5-10 cm e na área degradada.
- b) O pomar de mangueiras não melhora a qualidade do solo quando comparado a áreas degradadas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C.X.; PITA JUNIOR, J.L.; ROZANE, D.E.; SOUZA, H.A.; HERNANDES, A.; NATALE, W.; FERRAUDO, A.S. Nutrient cycling in mango trees. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v.35, n.1, p.259-266, 2014. (doi: 10.5433/1679-0359.2014v35n1p259).

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, v.22, n.6, p.711-728, 2013. (doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507).

BARDGETT, R.D.; MOMMER, L.; De VRIES, F.T. 2014. Going underground: root traits as drivers of ecosystem processes. *Trends in Ecology & Evolution*, Amsterdã, v.29, n.12, p.692-699, 2014. (doi: 10.1016/j.tree.2014.10.006).

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. *Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas*. Campinas: Instituto Agronômico, 2009. 77p.

CHAZDON, R.L.; BRANCALION, P.H.S.; LAESTADIUS, L.; BENNETT-CURRY, A.; BUCKINGHAM, K.; KUMAR, C.; MOLL-ROCEK, J.; VIEIRA, I.C.G.; WILSON, S.J. When is a forest a forest? Forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration. *Ambio*, Nova Iorque, v.45, n.5, p. 538-550, 2016. (doi: 10.1007/s13280-016-0772-y).

COMTE, I.; DAVIDSON, R.; LUCOTTE, M.; CARVALHO, C.J.R.; OLIVEIRA, F.A.; SILVA, B.P.; ROUSSEAU, G.X. Physicochemical properties of soils in the Brazilian Amazon following fire-free land preparation and slash-and-burn practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Amsterdã, v.156, p.108-115, 2012.

CORRÊA, F.L.O.; RAMOS, J.D.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; MÜLLER, M.W. Produção de serapilheira em sistema agroflorestal multiestratificado no Estado de Rondônia, Brasil. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.30, n.6, p.1099-1105, 2006. (doi: 10.1590/S1413-70542006000600008).

DORAN, J.W. Soil health and global sustainability: Translating science into practice. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdã, v.88, n.2, p.119-127, 2002. (doi: 10.1016/S0167-8809(01)00246-8).

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3a ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2013. 353p.

GANESHAMURTHY, A.N.; REDDY, Y.T.N. Fitness of mango for colonization in low fertility soils and dry lands: Examination of leaf life-span, leaf nutrient resorption, and nutrient use efficiency in elite mango varieties. *Agricultural Research*, Nova Iorque, v.4, n.3, p.254-260, 2015. (doi: 10.1007/s40003-015-0164-8).

HAIR, J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L. *Análise multivariada de dados*. 6.ed. Porto Alegre: Bookman; 2009. 688p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manual técnico da vegetação brasileira*. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 275p.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. *Biology and Fertility Soils*, Nova Iorque, v.27, n.4, p.408-416, 1998. (doi: 10.1007/s003740050451).

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil – V: A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, Amsterdã, v.8, n.3, p.209-213, 1976. (doi: 10.1016/0038-0717(76)90005-5).

KUMAR, P.; SHARMA, S.D.; SHARMA, N.C.; DEVI, M. The path coefficient analysis of yield components for leaf nutrient concentrations in mango (*Mangifera indica* L.) under rainfed agroclimatic conditions of north-west Himalaya. *Scientia Horticulturae*, Amsterdã, v.190, p.31-35, 2015. (doi: 10.1016/j.scienta.2015.02.042).

MANLY, B.J.F. *Métodos estatísticos multivariados: Uma introdução*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 230p.

MARENGO, J.A.; LIEBMANN, B.; KOUSKY, V.E.; FILIZOLA, N.P.; WAINER, I.C. Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon basin. *Journal of Climate*, Boston, v.14, p.833-852, 2001. (doi: 10.1175/1520-0442(2001)014<0833:OAEOTR>2.0.CO;2).

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration. *Climate prediction center: Cold & warm episodes by season*. Disponível em: <<http://www.noaa.gov/>>. Acesso em: 30 nov. 2016.

QUESADA, C.A.; LLOYD, J.; ANDERSON, L.O.; FYLLAS, N.M.; SCHWARZ, M.; CZIMCZIK, C.I. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. *Biogeosciences*, Munique, v.8, n.6, p.1415-1440, 2011. (doi: 10.5194/bg-8-1415-2011).

PALMER, C.; SILBER, T. Trade-offs between carbon sequestration and rural incomes in the N'hambita Community Carbon Project, Mozambique. *Land Use Policy*, Amsterdã, v.29, n.1, p.83-93, 2012. (doi: 10.1016/j.landusepol.2011.05.007).

RAMOS, A.M.; SANTOS, L.A.R.; FORTES, L.T.G. *Normais climatológicas do Brasil 1961-1990*. Brasília: INMET, 2009. 465p.

RANGEL-VASCONCELOS, L.G.T.; KATO, O.R.; VASCONCELOS, S.S. Matéria orgânica leve do solo em sistema agroflorestal de corte e trituração sob manejo de capoeira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.47, n.8, p.1142-1149, 2012. (doi: 10.1590/S0100-204X2012000800015).

RODRIGUES, J.C.; SOUZA, P.J.O.P.; LIMA, R.T. Estimate of base temperature and thermal requirement in mango for the northeast of Pará. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v.35, n.1, p.143-150, 2013. (doi: 10.1590/S0100-29452013000100017).

SALOMÃO, R.P.; VIEIRA, I.C.G.; BRIENZA JÚNIOR, S.; AMARAL, D.D.; SANTANA, A.C. Sistema Capoeira Classe: uma proposta de sistema de classificação de estágios sucessionais de florestas secundárias para o estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*, Belém, v.7, n.3, p.297-317, 2012.

SILVA, F.C.; ABREU, M.F.; PÉREZ, D.V.; EIRA, P.A.; ABREU, C.A.; van RAIJ, B.; GIANELLO, C.; COELHO, A.M.; QUAGGIO, J.A.; TEDESCO, M.J.; SILVA, C.A.; BARRETO, W.O. Métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. In: SILVA, F.C. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p.107-174.

SILVA, J.P.S.; NASCIMENTO, C.W.A.; SILVA, D.J.; CUNHA, K.P.V.; BIONDI, C.M. Changes in soil fertility and mineral nutrition of mango orchards in São Francisco Valley, Brazil. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v.9, n.1, p.42-48, 2014. (doi: 10.5039/agraria.v9i1a3466).

SILVA, R.M.; SILVA, L.P.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SANTOS, C.A.G. Análise da variabilidade espaço-temporal e identificação do padrão da precipitação na bacia do rio Tapacurá, Pernambuco. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, v.22, n.2, p.357-372, 2010. (doi: 10.1590/S1982-45132010000200010)

SINGH, B.K.; BARDGETT, R.D.; SMITH, P.; REAY, D.S. Microorganisms and climate change: terrestrial feedbacks and mitigation options. *Nature Reviews Microbiology*, Londres, v.8, p.779-790, 2010. (doi: 10.1038/nrmicro2439).

SOUSA, A.M.L.; ROCHA, E.J.P.; VITORINO, M.I.; SOUZA, P.J.O.P.; BOTELHO, M.N. Variabilidade espaço-temporal da precipitação na Amazônia durante eventos ENOS. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v.08, n.01, p.013-024, 2015.

YERGEAU, S.E.; OBROPTA, C.C. Preliminary field evaluation of soil compaction in rain gardens. *Journal of Environmental Engineering*, Reston, v. 139, n.9, p.1233-1236, 2013. (doi: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000732).

3. APORTE DE NUTRIENTES VIA SERAPILHEIRA EM POMAR DE MANGUEIRAS E ÁREAS DEGRADADAS NA AMAZÔNIA

Resumo: A degradação de áreas reduz a ciclagem de nutrientes e a mangueira (*Mangifera indica* L.) cultivada em pomares poderia ser utilizada como alternativa para reabilitação de áreas degradadas. O objetivo deste estudo foi avaliar o aporte de nutrientes ao solo via serapilheira em pomar de mangueiras utilizado como alternativa para reabilitação de áreas degradadas, no nordeste paraense, Amazônia. O estudo foi realizado em floresta, pomar de mangueiras e área degradada, localizados em Salinópolis, no Pará, Brasil. Foi realizado o monitoramento da produção da serapilheira total e das frações folhas, ramos, partes reprodutivas e miscelânea. O aporte de nutrientes foi determinado para as frações folhas, ramos e partes reprodutivas. A produção e o aporte de nutrientes ao solo via serapilheira foi acompanhada durante o período de julho de 2015 a junho de 2016. A decomposição da serapilheira foi monitorada conforme a sazonalidade de chuvas na região, estação menos chuvosa (julho a novembro de 2015) e chuvosa (janeiro a maio de 2016). As mangueiras produziram serapilheira em quantidades semelhantes à floresta. No entanto, o pomar de mangueiras apresentou sazonalidade de produção de serapilheira, concentrando-se na estação menos chuvosa. A fração de folhas apresentou maior contribuição na produção total de serapilheira. O aporte de nutrientes ao solo via serapilheira do pomar de mangueiras foi semelhante à floresta. A decomposição foi mais rápida no pomar de mangueiras e durante a estação chuvosa. O pomar de mangueiras pode ser utilizado como alternativa para reabilitação de áreas degradadas, pois proporciona a recuperação da ciclagem de nutrientes e a proteção do solo.

Palavras-chave: Ciclagem de nutrientes. Decomposição de serapilheira. *Mangifera indica* L. Produção de serapilheira. Reabilitação florestal.

NUTRIENTS INPUT VIA LITTER IN MANGO ORCHARDS AND DEGRADED AREAS IN AMAZONIA

Abstract: Degradation of areas reduces nutrients cycling in the environment, and mango tree (*Mangifera indica* L.) cultivated in orchard could as an alternative for degraded areas rehabilitation. The aim of this study was to evaluate the nutrients contribution to soil via litter in mango orchards, which was used as an alternative for degraded areas rehabilitation in the northeast of Para, Amazonia. The study was performed in forest, mango orchard, and degraded area located in Salinópolis, Pará, Brazil. It was carried out the production monitoring of total litter and fractions of leaves, branches, reproductive parts, and miscellaneous. Nutrients input were determined by the fractions of leaves, branches, and reproductive parts. Nutrients production and their contribution to the soil via litter were observed from July 2015 to June 2016. Litter decomposition was monitored according to region rainfall seasonality, less rainy season (July to November 2015) and rainy season (January to May 2016). Mango trees have produced litter in similar quantities to the forest. However, mango orchards have denoted litter production seasonality, which was concentrated in less rainy season. Leaves fraction has presented larger contribution on litter total production. Moreover, the contribution of nutrients coming from mango orchards to the soil via litter was similar to forest. The decomposition was rapider in mango orchards during the rainy season. Mango orchards may be used as an alternative to the rehabilitation of degraded areas due to its contribution for nutrients cycling and soil protection.

Key words: Nutrient cycling. Forest rehabilitation. *Mangifera indica* L. Litter production. Litter decomposition.

3.1 INTRODUÇÃO

A fertilidade dos solos na Amazônia depende diretamente da vegetação (QUESADA et al., 2011); a remoção desta vegetação provoca impactos diretos nos atributos do solo e na ciclagem de nutrientes (SILVA et al., 2014), que representa a troca de nutrientes entre os seres vivos e o ambiente, por meio do solo, onde se depositam partes senescentes dos vegetais, denominada serapilheira, e sua posterior decomposição. A decomposição é afetada por fatores abióticos e bióticos, como o clima, a composição química da serapilheira e a comunidade de organismos decompositores (GARCÍA-PALACIOS et al., 2013; KEISER et al., 2013). O clima é o fator determinante em regiões tropicais e temperadas (GARCÍA-PALACIOS et al., 2013).

Plantas que possuam crescimento rápido, copa ampla, atrativas à fauna e tolerantes as mudanças na umidade do solo (HAKIM; MIYAKAWA, 2013), apresentam características desejáveis à recuperação de áreas degradadas, além disso, podem promover aporte de nutrientes ao solo por meio da serapilheira; esses aspectos funcionais podem ser obtidos com espécies não nativas visando à reabilitação florestal (CHAZDON et al., 2016). Na reabilitação, pode-se selecionar apenas uma espécie e esta deve recuperar, pelo menos, uma função do ecossistema, como a ciclagem de nutrientes.

A mangueira (*Mangifera indica* L.) é uma espécie frutífera originária da Ásia e muito produzida em países, como Índia, Tailândia, Indonésia, México, Paquistão e Brasil (FAO, 2015). É eficiente na absorção de nutrientes, sobrevive bem em solos com pouca fertilidade e aos períodos de seca (GANESHAMURTHY; REDDY, 2015). A mangueira é prestadora de serviços ecossistêmicos, como produção de alimentos, proteção do solo (serapilheira) e ciclagem de nutrientes (CORRÊA et al., 2006; ALMEIDA et al., 2014; KUMAR et al., 2015).

Diante do exposto este estudo teve como objetivo avaliar o aporte de nutrientes ao solo via serapilheira em pomar de mangueiras utilizado como alternativa para reabilitação de áreas degradadas, no nordeste paraense, Amazônia; a hipótese testada foi que o pomar de mangueiras produz serapilheira em maior quantidade e qualidade, além de permitir maior aporte nutricional por meio da decomposição mais eficiente, principalmente, na estação chuvosa, comparando com áreas em degradação.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido no município de Salinópolis, nordeste do Estado do Pará, Brasil. O solo da região foi classificado como Latossolo Amarelo Distrófico (EMBRAPA, 2013). A classificação climática de Köppen é do tipo tropical chuvoso com pequeno período de estiagem, subtipo Am (ALVARES et al., 2013). A região apresenta temperatura média do ar de 27 °C, umidade relativa média do ar de 83%, velocidade média dos ventos de 1,75 m s⁻¹, insolação média de 2100 h e precipitação média anual de 2750 mm, com chuvas concentradas entre os meses de janeiro e junho (RAMOS et al., 2009).

O estudo foi realizado em três áreas: floresta (FL), pomar de mangueiras (PM) e área degradada (AD); apenas a FL e o PM são adjacentes. A FL (00°39'52,61"S, 47°17'01,89"W), considerada área controle, é um remanescente de Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras (IBGE, 2012), caracterizada por um sub-bosque onde predominam *Attalea speciosa* Mart. Ex Spreng. (babaçu), *Attalea maripa* (Aubl.) Mart (inajá), *Astrocaryum aculeatum* Meyer (tucumã) e várias espécies de lianas, entre outras.

A área do pomar de mangueiras variedade Tommy Atkins (00°39'50,50"S, 47°17'04,10"W) foi implantada entre 1991 e 1993, em consórcio com a cultura da graviola (*Annona muricata* L.). Depois o pomar foi abandonado. A partir de 2003 foi realizada a limpeza da área com a queima de restos culturais. Este processo extinguiu as plantas de graviola. Atualmente, o pomar possui área total de 25 ha cultivado em sistema não irrigado, em espaçamento de 10 x 10 m. A produtividade média de frutos é de 15,66 T ha⁻¹ (RODRIGUES et al., 2013).

O local denominado área degradada (00°40'09,44"S, 47°17'47,58"W) possui histórico de uso na agricultura de corte e queima; para implantação de cajueiros (*Anacardium occidentale* L.) para fins comerciais. Com a queda de produção, a área foi abandonada em 2012; onde se estabeleceu uma vegetação secundária em estágio inicial de sucessão, chamada de capoeirinha (SALOMÃO et al., 2012). A área degradada é caracterizada pela perda de serviços ecossistêmicos anteriormente prestados, como a redução na qualidade físico-química do solo quando comparado a um remanescente de Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras (IBGE, 2012) adjacente; a AD apresenta elevada densidade global do solo, 1,86 g cm⁻³; pouca porosidade total, 27%; e pequena quantidade de matéria orgânica, 12,85 g kg⁻¹; enquanto que

na floresta, foram determinados os seguintes valores: $1,70 \text{ g cm}^{-3}$; 34%; e $23,39 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente, na profundidade 5-10 cm do solo.

Para caracterização dos atributos químicos e físicos do solo nos ambientes estudados foram realizadas duas coletas, uma na estação menos chuvosa (outubro de 2015) e outra na estação chuvosa (abril de 2016) (Tabela 3.1). Para caracterização química, as amostras foram coletadas, aleatoriamente, duas subamostras por repetição (quatro repetições) dentro de cada área de estudo; as subamostras foram obtidas em duas mini trincheiras medindo $30 \times 30 \times 35$ cm; estas foram misturadas e retirada uma amostra composta de solo, em duas profundidades, 0-5 e 5-10 cm. Os atributos químicos determinados foram: pH em água (1:2,5); cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) ($\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$); acidez potencial (H+Al) (acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 7,1-7,2); fósforo (P) e potássio (K) (Mehlich 1); e matéria orgânica do solo (MOS) (volumétrico) (SILVA et al., 2009). Para caracterização física, as amostras foram coletadas entre as duas mini trincheiras, usadas nas coletas para análise química do solo, com trado para coleta indeformada, com quatro repetições por área de estudo. Os atributos físicos determinados foram: densidade do solo (método do anel volumétrico) e porosidade total (densidade do solo/densidade de partícula) (CAMARGO et al., 2009).

3.2.2 Coleta de dados meteorológicos

As chuvas e a velocidade dos ventos foram monitorados diariamente por um pluviômetro (TB4, *Campbell Scientific*) e por um anemômetro (05106, *Young*), ambos instalados no topo de uma torre micrometeorológica a 10,5 m de altura sobre o PM. Os sensores estiveram conectados ao sistema automático de coleta de dados, datalogger (CR1000, *Campbell Scientific*), para realização das leituras dos sensores a cada dez segundos e a gravação das médias e totais a cada dez minutos.

Tabela 3.1. Características químicas e físicas dos solos das áreas de floresta, pomar de mangueiras e área degradada, nas estações menos chuvosa e chuvosa, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, em Salinópolis, Pará.

Atributo	EMC			EC		
	FL	PM	AD	FL	PM	AD
	0-5 cm					
pH (H ₂ O) (1:2,5)	4,72	6,23	5,21	4,84	6,23	5,33
Ca (cmol dm ⁻³)	0,84	4,32	0,77	1,20	3,80	0,89
Mg (cmol dm ⁻³)	0,55	1,45	0,30	1,43	1,71	0,55
K (cmol dm ⁻³)	0,07	0,15	0,09	0,07	0,06	0,05
Al (cmol dm ⁻³)	1,40	0,00	0,47	1,09	0,00	0,56
H+Al (cmol dm ⁻³)	9,01	4,16	4,46	9,78	4,02	6,07
P (mg dm ⁻³)	0,66	0,72	0,44	1,23	1,20	0,65
MOS (g kg ⁻¹)	23,10	27,59	10,72	26,30	24,43	15,23
Dg (g cm ⁻³)	1,58	1,87	2,28	1,50	1,51	1,64
Pt (%)	40	27	14	42	41	37
	5-10 cm					
pH (H ₂ O) (1:2,5)	4,59	5,79	5,03	4,68	6,06	5,04
Ca (cmol dm ⁻³)	0,57	2,18	0,45	0,59	2,23	0,36
Mg (cmol dm ⁻³)	0,36	1,39	0,11	0,70	1,32	0,27
K (cmol dm ⁻³)	0,07	0,13	0,06	0,06	0,04	0,05
Al (cmol dm ⁻³)	1,72	0,05	0,81	1,94	0,08	1,19
H+Al (cmol dm ⁻³)	9,10	4,69	4,58	9,68	4,39	6,49
P (mg dm ⁻³)	0,58	0,56	0,21	0,73	0,71	0,29
MOS (g kg ⁻¹)	22,06	17,20	8,75	23,39	17,09	12,85
Dg (g cm ⁻³)	1,67	1,66	1,92	1,70	1,64	1,86
Pt (%)	36	37	29	34	36	27

EMC: Estação menos chuvosa; EC: Estação chuvosa; FL: Floresta; PM: Pomar de mangueiras; AD: Área degradada; pH: Potencial hidrogênico; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; K: Potássio; Al: Alumínio; H+Al: Acidez potencial; P: Fósforo; MOS: Matéria orgânica do solo; Dg: Densidade do solo; Pt: Porosidade total do solo. Ca, Mg e Al: extrator KCl 1 mol L⁻¹; H+Al: determinado por acetato de cálcio 0,5 1 mol L⁻¹ a pH 7,1-7,2; P e K: extrator Mehlich 1; MO: matéria orgânica (método volumétrico) (SILVA et al., 2009); Dg: método do anel (CAMARGO et al., 2009).

3.2.3 Produção de serapilheira

Foram selecionadas três parcelas de 20 x 20 m (400 m²), em cada área de estudo. Em cada parcela foram instalados e distribuídos aleatoriamente quatro coletores, a 0,5 m acima do solo; totalizando 12 coletores por área. Os coletores eram quadrados de madeira medindo 1 x 1 x 0,5 m, com fundo em tela de nylon de malha de 1,0 mm, a fim de permitir o acúmulo do material e proporcionar a passagem da chuva, evitando que o processo de decomposição iniciasse nos coletores.

Para quantificar o fluxo de serapilheira, as coletas foram realizadas mensalmente, no período de julho de 2015 a junho de 2016. As amostras eram acondicionadas em sacos de papel identificados e enviados ao laboratório. O material foi separado manualmente em frações de folhas, ramos, partes reprodutivas (flores, frutos e sementes) e miscelânea (restos

de animais e partes vegetais não identificados), com o objetivo de avaliar a contribuição de cada uma das frações por área de estudo. O material coletado foi secado em estufa de circulação de ar forçada a 70 °C, até a obtenção de uma massa constante, e pesado em balança digital analítica para obtenção da massa seca. As médias foram expressas em g m⁻². A produção de serapilheira foi estimada conforme equação (FERREIRA et al., 2014): $PA = (\sum PMM * 10000) / AC$, em que PA é a produção média anual de serapilheira (kg ha⁻¹ ano⁻¹), PMM é a produção média mensal (kg ha⁻¹ ano⁻¹) e AC é a área do coletor (m²). Posteriormente, a produção média anual de serapilheira foi convertida para Mg ha⁻¹ ano⁻¹.

3.2.4 Nutrientes na serapilheira

Para análise química, as doze amostras de cada área de estudo foram misturadas para a obtenção de uma amostra composta e mensal por ambiente estudado, nas frações folhas, ramos e partes reprodutivas. O material seco foi moído em moinho tipo Willey e peneirado em peneiras de 30 mesh. A determinação dos teores de nutrientes da serapilheira foi obtida conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). O nitrogênio (N) foi determinado pelo método Kjeldahl, após digestão sulfúrica. Após digestão nítrica-perclórica, foram determinados, o fósforo (P), por espectrofotometria; o enxofre (S), por turbidimetria; o potássio (K), por fotometria de chama; e o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg), por espectrometria de absorção atômica. As análises de nutrientes da serapilheira foram realizadas no Laboratório de Tecidos Vegetais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), pertencente a Universidade de São Paulo (USP).

3.2.5 Decomposição da serapilheira

A taxa de decomposição da serapilheira foi obtida conforme metodologia descrita por Ferreira et al. (2014), onde foram utilizados 15 sacos de serapilheira distribuídos aleatoriamente no chão da cada parcela, totalizando 135 sacos, que foram feitos em tela de nylon de 2,0 mm, nas dimensões 25 x 25 x 1,5 cm. Em cada saco foi acondicionado 25 g de material seco (folhas) oriundo do local onde foi instalado. Três sacos foram coletados mensalmente em cada parcela, no período de 30, 60, 90, 120 e 150 dias, durante a estação menos chuvosa (julho a novembro de 2015). Outros 135 sacos foram similarmente amostrados durante a estação chuvosa (janeiro a maio de 2016).

As amostras foram levadas a estufa a 70 °C até a obtenção de massa seca constante. A taxa de decomposição foi obtida pela equação: $MR = (MF/MI) * 100$, em que MR é a massa remanescente no saco de serapilheira (%); MF é a massa final (g); MI é a massa inicial (g).

A constante de decomposição (k) foi obtida segundo equação descrita por Thomas e Asakawa (1993), com o seguinte modelo exponencial: $X_t = X_o * e^{-kt}$. Reorganizando para: $k = \ln(X_t/X_o)/t$, em que X_t é a massa seca do material remanescente após t dias (g); X_o é a massa seca do material colocado no saco no tempo zero (t = 0) (g); t é o tempo (dias). O tempo de meia-vida ($T_{0,5}$) foi determinada conforme a equação: $T_{0,5} = \ln(2)/k$. Quando 95% ($T_{0,05}$) do material estavam decomposto, obteve-se a seguinte equação: $T_{0,05} = 3/k$.

3.2.6 Análise estatística

Foi utilizada a estatística descritiva através de médias aritméticas e desvios-padrão das variáveis avaliadas. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. A produção de serapilheira foi submetida à análise de variância (ANOVA) de medidas repetidas. A decomposição de serapilheira foi submetida à ANOVA de medidas repetidas, e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância. O aporte de nutrientes foi submetido à ANOVA, e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas através do software Systat (Systat, versão 12.02).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Produção de serapilheira

A produção média anual de serapilheira apresentou diferença ($p < 0,001$) entre os ambientes, as estações e a interação estação e ambiente (Tabela 3.2). A produção média anual de serapilheira produzida pela FL (8,95 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) e o PM (7,06 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) foram similares e maiores que a produção da AD (3,81 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) (Tabela 3.3). Na floresta, a produção de serapilheira foi maior em setembro (104,79 g m⁻²), enquanto que no PM e na AD, o pico foi alcançado em outubro (186 g m⁻²) e em julho (43,14 g m⁻²), respectivamente.

Tabela 3.2. Valores de F e os níveis de significância associados aos efeitos de tratamentos (três ambientes: floresta, pomar de mangueira e área degradada), estações (menos chuvosa e chuvosa) e sua interação sobre a produção e decomposição de serapilheira, em Salinópolis, Pará.

Variáveis	Ambiente	Estação	Ambiente x estação
Produção total	10,563***	9,752***	5,859***
Produção folhas	8,031**	8,583***	5,082***
Produção ramos	14,309***	4,722***	3,028***
Produção partes reprodutivas	6,549**	4,124***	3,008***
Produção miscelânea	15,046***	3,962***	2,649***
Massa remanescente	10,064***	0,085 ^{ns}	5,009*
k	6,184**	5,331*	4,219*
T _{0,5}	5,778**	1,697 ^{ns}	7,223**
T _{0,05}	5,778**	1,696 ^{ns}	7,221**

k: Constante de decomposição; T_{0,5}: Tempo de decomposição de 50% da serapilheira; T_{0,05}: Tempo de decomposição de 95% da serapilheira. O nível de significância é indicado (*: p ≤ 0,05, **: p ≤ 0,01, ***: p ≤ 0,001, ns: não significativo).

Tabela 3.3. Produção média anual de serapilheira (média ± desvio padrão) por frações e total, nos três ambientes estudados, em Salinópolis, Pará.

Fração	Unidade	FL	PM	AD
Folhas	Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹	6,80 ± 0,02	4,71 ± 0,04	3,01 ± 0,01
	%	76,01	66,66	78,85
Ramos	Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹	1,30 ± 0,01	0,67 ± 0,01	0,25 ± 0,00
	%	14,49	9,46	6,67
Partes reprodutivas	Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹	0,70 ± 0,01	1,64 ± 0,02	0,46 ± 0,00
	%	7,81	23,18	11,95
Miscelânea	Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹	0,15 ± 0,00	0,05 ± 0,00	0,10 ± 0,00
	%	1,69	0,71	2,53
Total	Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹	8,95	7,06	3,81

FL: Floresta; PM: Pomar de mangueiras; AD: Área degradada.

A produção média anual de serapilheira foi inversamente proporcional à precipitação na região, principalmente, no PM e na AD (Figura 3.1a), e diretamente proporcional à velocidade dos ventos, especialmente, no PM (Figura 3.1b). A ocorrência do pico na produção média anual de serapilheira na estação menos chuvosa em regiões tropicais é uma resposta ao estresse hídrico (ZHANG et al., 2014). Em relação à velocidade dos ventos, a região de Salinópolis, local onde foi realizado este estudo, sofre influência de brisas marítimas devido a proximidade da região do oceano Atlântico (GERMANO et al., 2017), fato que proporcionou o aumento da velocidade dos ventos na estação menos chuvosa influenciando no incremento da produção de serapilheira na região neste período.

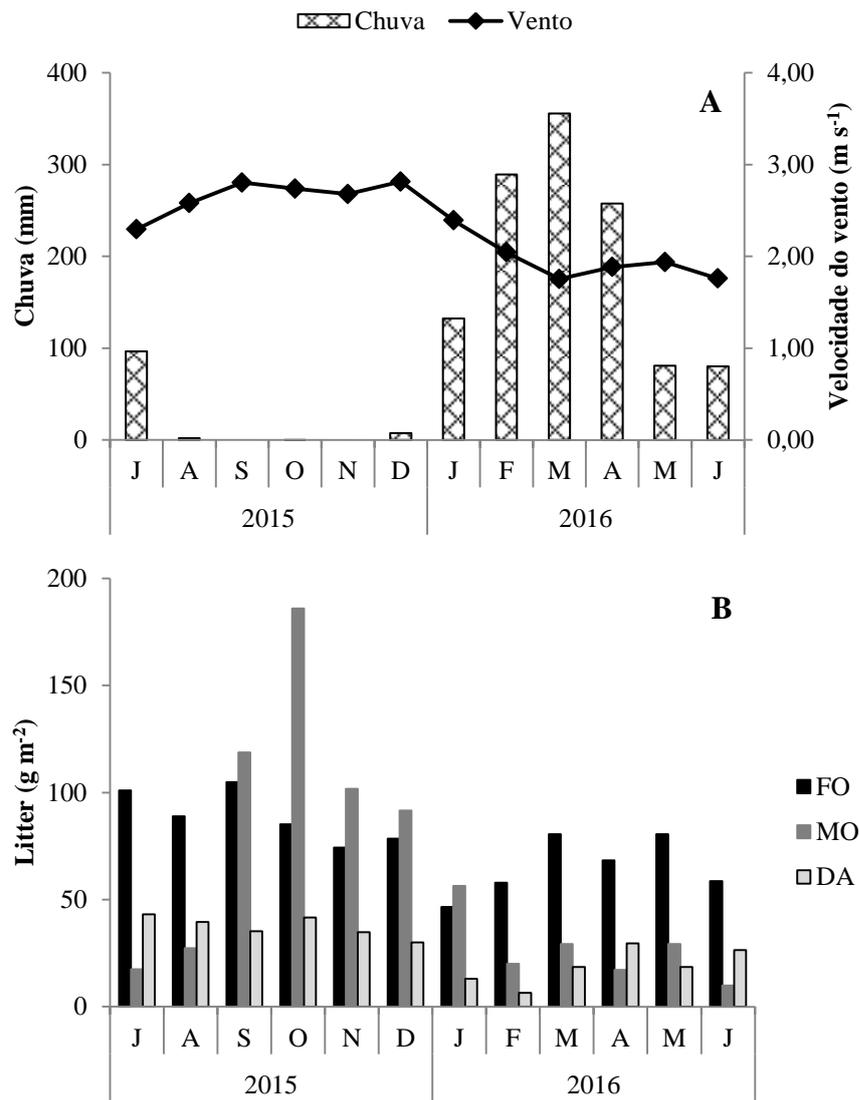


Figura 3.1. Variáveis meteorológicas e a média da produção total de serapilheira no período de julho de 2015 a junho de 2016, em Salinópolis, Pará. (A) Chuva e velocidade dos ventos; (B) Produção total de serapilheira. FL: Floresta; PM: Pomar de mangueiras; AD: Área degradada.

A produção média anual da serapilheira encontrada na FL ($8,95 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) foi similar à encontrada em uma floresta tropical na Indonésia ($9,04 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; KOTOWSKA et al., 2016) e ficou dentro dos intervalos encontrados na Amazônia, como aqueles encontrados no norte do Estado de Mato Grosso, que ficou entre $8,59$ e $13,2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (ALMEIDA et al., 2015), e no nordeste paraense, que ficou entre $7,37$ e $9,82 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, mais pontualmente no intervalo entre uma floresta secundária de dez anos e florestas maduras, ou seja, entre $8,40$ e $9,82 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (HAYASHI et al., 2012).

A produção média anual do PM ($7,06 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) foi similar à produção média encontrada em mangueiras em sistemas agroflorestais (SAF) multiestratificados ($7,87 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) no estado de Rondônia (CORRÊA et al., 2006) e aos SAF de seringueira (*Hevea*

brasiliensis (Willd. ex Adr. de Juss.) Muell.-Arg.) e de cacau (*Theobroma cacao* L.), onde foram observados produções de 7,66 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e 6,49 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente (FONTES et al., 2014; KOTOWSKA et al., 2016). Estes resultados mostram que a mangueira tem eficiência na produção de serapilheira semelhante aos SAF.

A área degradada apresentou produção média anual de serapilheira (3,81 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) inferior aos resultados encontrados para cultivo de cajueiro anão precoce, em Paraipaba, no Estado do Ceará, onde obtiveram o total médio de 6,68 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (SOARES et al., 2008); esse resultado demonstra que os cajueiros remanescentes na área não a torna comparável aos cultivos. Valores bem superiores (7,37 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) também foram encontrados nas florestas secundárias de seis anos de idade do nordeste paraense (HAYASHI et al., 2012). Os resultados da AD revelaram um nível de degradação elevado, e parece que a sucessão florestal, ocorrida até o momento, não conseguiu promover uma produção de serapilheira análoga às áreas acima comparadas.

A produção total de serapilheira e suas frações variaram durante o período estudado (Figura 3.2). As variações nos percentuais das frações da serapilheira estão, também, relacionadas diretamente à fenologia das espécies que compõem as áreas estudadas. Outros estudos sobre a fração folhas encontraram resultados semelhantes, que variaram entre 66% e 80%, em florestas tropicais (ALMEIDA et al., 2015; KOTOWSKA et al., 2016), e 81%, em cultivos de cajueiros (SOARES et al., 2008).

A fração folhas apresentou diferença entre os ambientes ($p = 0,002$), as estações e a interação estação e ambiente ($p < 0,001$) (Tabela 3.2). Comparando os ambientes, entre julho e setembro; fevereiro e abril; e junho, o domínio na produção da fração folhas foi da FL, enquanto que no período de outubro a dezembro, as maiores produções para esta fração foi no PM (Figura 3.2a). A fração folhas representou a maior contribuição na produção total de serapilheira, totalizando 76% na FL, 67% no PM, e 79% na AD, seguida dos ramos, partes reprodutivas e miscelânea na FL, enquanto que para os demais ambientes, as partes reprodutivas representaram maior contribuição que os ramos (Tabela 3.3).

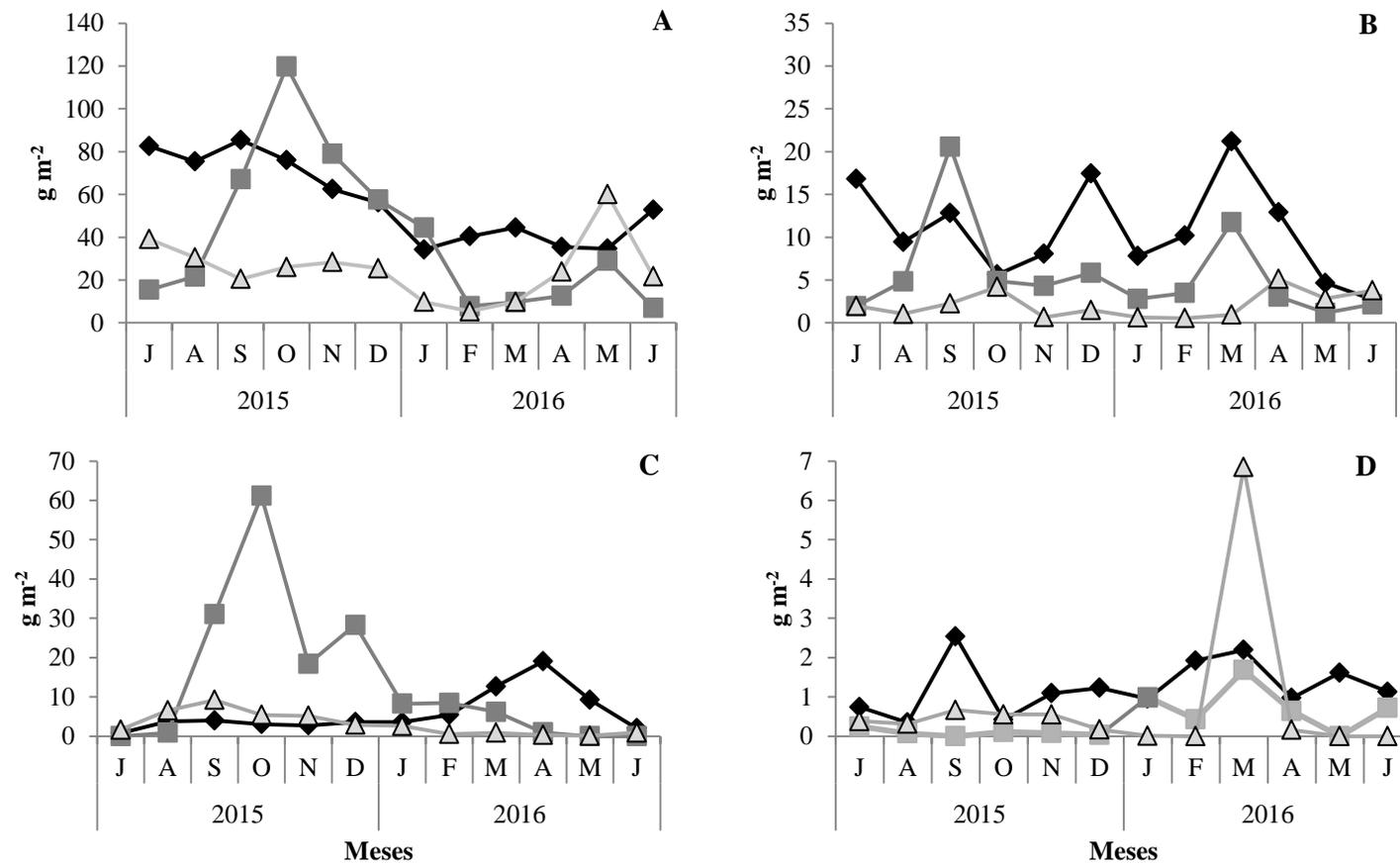


Figura 3.2. Produção mensal das frações da serapijira nos três ambientes estudados, em Salinópolis, Pará. (A) Folhas; (B) Ramos; (C) Partes reprodutivas; (D) Miscelânea. FL: Floresta (◆); PM: Pomar de mangueiras (■); AD: Área degradada (▲).

Houve diferença, para os ramos, entre os ambientes, as estações ($p < 0,001$) e a interação estação e ambiente ($p = 0,001$) (Tabela 3.2). Na comparação entre os ambientes, a FL apresentou as maiores proporções da fração ramos em julho e entre fevereiro e abril, enquanto que no PM os maiores valores foram observados no período de novembro a fevereiro (Figura 3.2b). As maiores proporções da fração ramos na FL estiveram relacionadas à ocorrência de chuvas na região, enquanto que no PM a maior contribuição desta fração esteve relacionado as maiores velocidades dos ventos registradas durante este período (Figura 3.1a); fatos que potencializaram a queda de partes lenhosas das plantas.

A fração partes reprodutivas apresentou diferença entre os ambientes ($p = 0,005$), as estações ($p = 0,021$) e a interação estação e ambiente ($p = 0,025$) (Tabela 3.2). No pomar de mangueiras, no período de outubro a dezembro, as diferenças ocorreram devido a influencia do período reprodutivo das mangueiras entre 26 de agosto e 24 de novembro de 2015. Comparando entre os ambientes, a fração partes reprodutivas teve maior representatividade para a FL entre março e junho (Figura 3.2c).

A fração partes reprodutivas representou significativa proporção em relação às demais frações da serapilheira no PM, 23% (Tabela 3.3). A mangueira possui um mecanismo de florescimento denominado floração em massa (PÉREZ et al., 2015). Através deste mecanismo, as mangueiras emitem grande quantidade de inflorescências durante uma curta estação, por isso, a fase reprodutiva ocorre durante um período muito restrito. Apesar da floração em massa, a polinização das mangueiras é ineficiente, e menos de 50% de suas flores é polinizada; destas, menos que 1% das flores consegue atingir o desenvolvimento final dos frutos (DAVENPORT, 2009). Durante a fase reprodutiva das mangueiras, a fração partes reprodutivas é composta, principalmente, por frutos, que contribuem significativamente para o aumento da produção de serapilheira no pomar.

Houve diferença, para a miscelânea, entre os ambientes ($p < 0,001$), as estações ($p = 0,02$) e a interação estação e ambiente ($p = 0,005$) (Tabela 3.2). Na comparação entre os ambientes, a fração miscelânea foi maior na FL em agosto e setembro, enquanto que em fevereiro e abril foi maior na AD (Figura 3.2d). A fração miscelânea no PM foi muito baixa (Tabela 3.3) devido à maior facilidade de separar as frações neste ambiente.

3.3.2 Nutrientes na serapilheira

Houve diferença no teor de nitrogênio entre os ambientes para as frações folhas e ramos ($p < 0,001$) (Tabela 3.4). Os teores de nitrogênio na fração folhas foram menores e similares no PM ($6,39 \text{ g kg}^{-1}$) e na AD ($5,83 \text{ g kg}^{-1}$) do que na FL ($9,23 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 3.5).

Na fração ramos, os teores de nitrogênio foram maiores e similares na FL (6,73 g kg⁻¹) e na AD (6,35 g kg⁻¹) em relação ao PM (4,38 g kg⁻¹). O teor de fósforo apresentou diferença entre os ambientes apenas para a fração folhas (p = 0,003) (Tabela 3.4); estes teores foram maiores e similares na FL (0,39 g kg⁻¹) e no PM (0,43 g kg⁻¹) do que na AD (0,24 g kg⁻¹) (Tabela 3.5).

Tabela 3.4. Valores de F e os níveis de significância associados ao efeito dos tratamentos (três ambientes: floresta, pomar de mangueira e área degradada) sobre o aporte de nutrientes da serapilheira, em Salinópolis, Pará.

Nutrientes	Folhas	Ramos	Partes reprodutivas
N	80,217***	13,283***	1,306 ^{ns}
P	6,809*	0,119 ^{ns}	2,092 ^{ns}
K	1,874 ^{ns}	5,411**	1,017 ^{ns}
Ca	21,465***	9,364***	2,235 ^{ns}
Mg	39,268***	0,134 ^{ns}	0,215 ^{ns}
S	12,713***	11,498***	6,295**

N: Nitrogênio; P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; S: Enxofre. O nível de significância é indicado (*: p ≤ 0,05, **: p ≤ 0,01, ***: p ≤ 0,001, ns: não significativo).

Houve diferença no teor de potássio entre os ambientes apenas para a fração ramos (p = 0,01) (Tabela 3.4); estes teores foram menores e similares na FL (0,87 g kg⁻¹) e no PM (0,83 g kg⁻¹) em relação à AD (1,79 g kg⁻¹) (Tabela 3.5). O teor de cálcio apresentou diferença entre os ambientes para as frações folhas (p < 0,001) e ramos (p = 0,001) (Tabela 3.4). Os teores de cálcio na fração folhas foram menores e similares na FL (7,20 g kg⁻¹) e na AD (4,80 g kg⁻¹) do que no PM (16,19 g kg⁻¹) (Tabela 3.5). Na fração ramos, os teores de cálcio foram maiores e similares no PM (10,12 g kg⁻¹) e na FL (7,43 g kg⁻¹), enquanto que a FL também foi similar a AD (5,02 g kg⁻¹).

Houve diferença no teor de magnésio entre os ambientes apenas para a fração folhas (p < 0,001) (Tabela 3.4); estes teores foram diferentes entre os ambientes estudados, FL (2,28 g kg⁻¹), PM (2,74 g kg⁻¹) e AD (1,39 g kg⁻¹) (Tabela 3.5). O teor de enxofre apresentou diferença entre os ambientes para as frações folhas, ramos (p < 0,001) e partes reprodutivas (p = 0,006) (Tabela 3.4). Os teores de enxofre na fração folhas foram maiores e similares na FL (1,49 g kg⁻¹) e no PM (1,21 g kg⁻¹) do que na AD (0,53 g kg⁻¹) (Tabela 3.5). Na fração ramos, os teores de enxofre foram menores e similares no PM (0,41 g kg⁻¹) e na AD (0,44 g kg⁻¹) em relação à FL (0,65 g kg⁻¹); resultado semelhante foi observado para a fração partes reprodutivas no PM (0,65 g kg⁻¹), na AD (0,63 g kg⁻¹) e na FL (0,94 g kg⁻¹).

Tabela 3.5. Nutrientes da serapilheira (média \pm desvio padrão) por frações, nos três ambientes estudados, em Salinópolis, Pará.

Ambientes	N	P	K	Ca	Mg	S
	Folhas (g kg^{-1})					
FL	9,23 \pm 0,62 A	0,39 \pm 0,13 A	1,14 \pm 0,44 A	7,20 \pm 2,30 A	2,28 \pm 0,35 A	1,49 \pm 0,64 A
PM	6,39 \pm 0,78 B	0,43 \pm 0,15 A	1,11 \pm 0,29 A	16,19 \pm 7,30 B	2,74 \pm 0,50 B	1,21 \pm 0,52 A
AD	5,83 \pm 0,71 B	0,24 \pm 0,11 B	1,41 \pm 0,48 A	4,80 \pm 1,37 A	1,39 \pm 0,24 C	0,53 \pm 0,11 B
	Ramos (g kg^{-1})					
FL	6,73 \pm 1,11 A	0,31 \pm 0,16 A	0,87 \pm 0,60 A	7,43 \pm 2,29 AB	1,54 \pm 0,42 A	0,65 \pm 0,17 A
PM	4,38 \pm 1,48 B	0,28 \pm 0,13 A	0,83 \pm 0,51 A	10,12 \pm 4,24 A	1,46 \pm 0,31 A	0,41 \pm 0,11 B
AD	6,35 \pm 0,95 A	0,30 \pm 0,14 A	1,79 \pm 1,13 B	5,02 \pm 1,35 B	1,48 \pm 0,35 A	0,44 \pm 0,12 B
	Partes reprodutivas (g kg^{-1})					
FL	11,58 \pm 1,49 A	1,00 \pm 0,31 A	8,01 \pm 6,95 A	5,79 \pm 1,33 A	1,93 \pm 0,42 A	0,94 \pm 0,29 A
PM	10,05 \pm 1,84 A	1,42 \pm 0,37 A	9,85 \pm 6,69 A	4,21 \pm 1,24 A	1,82 \pm 0,49 A	0,65 \pm 0,14 B
AD	11,12 \pm 2,91 A	1,07 \pm 0,70 A	12,32 \pm 7,99 A	5,13 \pm 2,20 A	1,86 \pm 0,31 A	0,63 \pm 0,21 B

FL: Floresta; PM: Pomar de mangueiras; AD: Área degradada; N: Nitrogênio; P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; S: Enxofre. Valores seguidos pela mesma letra, na vertical indicam a comparação entre os ambientes para cada fração da serapilheira, não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Na floresta, para a fração folhas, os teores de nutrientes seguiram a ordem decrescente: $N > Ca > Mg > S > K > P$; para a fração ramos: $Ca > N > Mg > K > S > P$; e para a fração partes reprodutivas: $N > K > Ca > Mg > P > S$ (Tabela 3.4). Estes padrões foram distintos daqueles observados para diferentes áreas florestais, na fração folhas, como aqueles encontrados em florestas tropicais na Amazônia, onde a ordem decrescente foi $N > Ca > Mg > K > P$ (HAYASHI et al., 2012) e em florestas da Indonésia, onde a ordem foi $N > Ca > K > Mg > S > P$ (KOTOWSKA et al., 2016).

Os nutrientes da fração folhas obtidos na FL (Tabela 3.5) não são comparáveis a outras áreas na Amazônia; os teores de nitrogênio e fósforo foram inferiores aos observados em folhas da floresta do alto Rio Negro, na Venezuela, que foram de $16,95 \text{ g kg}^{-1}$ para nitrogênio; $0,90 \text{ g kg}^{-1}$ para fósforo (SOBRADO, 2014); e nitrogênio e potássio também foram inferiores aos obtidos em florestas sucessionais do nordeste paraense, onde foram observados $13,35 \text{ g kg}^{-1}$ para nitrogênio; $1,24 \text{ g kg}^{-1}$ para potássio (HAYASHI et al., 2012); por outro lado, nessas mesmas florestas sucessionais os teores de fósforo ($0,23 \text{ g kg}^{-1}$), cálcio ($4,40 \text{ g kg}^{-1}$) e magnésio ($1,55 \text{ g kg}^{-1}$) foram inferiores aos observados neste estudo. A divergência entre os teores de nutrientes obtidos neste estudo e a literatura se deve à distinta diversidade florística entre os ambientes florestais (HAYASHI et al., 2012; SOBRADO, 2014).

No pomar de mangueiras, a quantidade de nutrientes obtidos na fração folhas seguiu a ordem: $Ca > N > Mg > S > K > P$ (Tabela 3.4). Estes resultados diferem das ordens: $Ca > N > K > Mg > S > P$; e $Ca > N > K > P > Mg$, obtidas por Almeida et al. (2014), e Silva et al. (2014), para mangueiras com 25 anos de idade. A maior importância do magnésio encontrada nas folhas das mangueiras foi consequência da calagem com calcário dolomítico realizada em 2013 na área do pomar.

Os resultados obtidos para a fração folhas no PM foram semelhantes aos encontrados em mangueiras variedade Palmer, em Vista Alegre do Alto, no Estado de São Paulo, onde determinaram $7,0 \text{ g kg}^{-1}$; $0,3 \text{ g kg}^{-1}$ e $1,1 \text{ g kg}^{-1}$, para nitrogênio, fósforo e enxofre, respectivamente (ALMEIDA et al., 2014); por outro lado, os teores encontrados nessa mesma área em Vista Alegre do Alto para potássio ($4,0 \text{ g kg}^{-1}$), cálcio ($36,8 \text{ g kg}^{-1}$), e magnésio ($1,9 \text{ g kg}^{-1}$) foram bem superiores aos encontrados neste estudo. Também foram superiores os teores de nutrientes em folhas de mangueiras de diversas variedades, principalmente Tommy Atkins, em Petrolina, no Estado de Pernambuco, onde foram encontrados: $15,19 \text{ g kg}^{-1}$, para nitrogênio; $2,13 \text{ g kg}^{-1}$ para fósforo; $11,57 \text{ g kg}^{-1}$ para potássio; e $18,61 \text{ g kg}^{-1}$ para cálcio,

sendo superior apenas para o magnésio, que em Petrolina foi de $1,78 \text{ g kg}^{-1}$ (SILVA et al., 2014).

A ordem dos nutrientes na fração ramos das mangueiras foi $\text{Ca} > \text{N} > \text{Mg} > \text{K} > \text{S} > \text{P}$ (Tabela 3.5), diferindo dos resultados encontrados em estudos sobre a acumulação e distribuição de macronutrientes em mangueiras variedade Sensation, em Nelspruit, na África do Sul, que apresentaram ordem $\text{K} > \text{Ca} > \text{N} > \text{P} > \text{Mg}$ para a casca e a madeira (STASSEN et al., 2000). Os resultados aqui encontrados para a fração ramos no PM (21% para nitrogênio; 13% para fósforo; 7%, para potássio; 33% para cálcio; e 24% para magnésio) foram superiores aos determinados pelos autores, para cálcio e magnésio, 20% e 22%, respectivamente; e inferiores para nitrogênio (27%), fósforo (20%) e potássio (27%).

Os nutrientes na fração partes reprodutivas no PM seguiram a ordem: $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$ (Tabela 3.5), diferindo dos resultados obtidos em frutos de mangueiras variedade Tommy Atkins, no Estado do Rio Grande do Norte, onde encontraram: $\text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{N} > \text{P}$ (MEDEIROS et al., 2004). Esses autores encontraram maior quantidade de nutrientes nas partes reprodutivas ($1,83 \text{ g kg}^{-1}$ para fósforo; $13,97 \text{ g kg}^{-1}$ para potássio; $14,2 \text{ g kg}^{-1}$ para cálcio; e $6,53 \text{ g kg}^{-1}$ para magnésio), exceto para o nitrogênio ($5,73 \text{ g kg}^{-1}$), do que as quantidades apresentadas na mesma fração do PM estudado (Tabela 3.5).

Para a cultura da mangueira, as pesquisas sobre os nutrientes nas frações ramos e partes reprodutivas são poucos, estudos relacionados às folhas predominam, devido ao interesse da análise foliar no manejo de nutrientes nos pomares (ALMEIDA et al., 2014; SILVA et al., 2014; KUMAR et al., 2015), especialmente durante o ciclo reprodutivo visando a produção (STASSEN et al. 2000; MEDEIROS et al., 2004).

Na área degradada, os nutrientes das frações folhas e ramos seguiram a ordem: $\text{N} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$, e na fração partes reprodutivas: $\text{N} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$. Os resultados das frações folhas e ramos foram semelhantes aos encontrados por Soares et al. (2008), que estudaram os cajueiros, no Estado do Ceará, embora existam diferenças entre os locais de estudo e os tratamentos culturais, como calagem e adubação. Entretanto, em termos quantitativos os teores obtidos neste estudo (Tabela 3.5) foram inferiores aos encontrados pelos autores ($40,18 \text{ g kg}^{-1}$ para nitrogênio; $0,75 \text{ g kg}^{-1}$ para fósforo; $9,52 \text{ g kg}^{-1}$ para potássio; $29,05 \text{ g kg}^{-1}$ para cálcio; $11,09 \text{ g kg}^{-1}$ para magnésio; e $2,49 \text{ g kg}^{-1}$ para enxofre).

Os nutrientes absorvidos pelas plantas proporcionam a qualidade química da serapilheira, sendo resposta da disponibilidade destes elementos através do solo, do ar ou das chuvas. Na floresta e na AD, esta disponibilidade ocorre de forma natural, enquanto que para

as áreas agrícolas, há a adubação que visa repor os nutrientes extraídos da planta pela poda e colheita, além de aumentar a produtividade.

3.3.3 Decomposição da serapilheira

Houve diferença na massa remanescente de serapilheira entre os ambientes ($p < 0,001$) e na interação entre as estações e os ambientes ($p = 0,011$) (Tabela 3.2). A massa remanescente de serapilheira foi similar entre os ambientes (72% para a FL, 67% para o PM e 70% na AD) durante a estação menos chuvosa, enquanto que na estação chuvosa (63% para a FL, 52% no PM e 74% na AD) foram diferentes ($p < 0,001$) (Tabela 3.6). Estes resultados evidenciam que a decomposição da serapilheira foi influenciada pelas chuvas de forma diferente entre os ambientes (Figura 3.2). Na estação menos chuvosa, a massa remanescente foi, em média, 6% maior que na estação chuvosa. Corroborando com estudos em florestas tropicais na Austrália onde o processo de decomposição foi maior na estação chuvosa em relação à estação menos chuvosa (PARSONS et al., 2014a, b).

Tabela 3.6. Constante e tempo de decomposição (média \pm desvio padrão) nos ambientes estudados, durante as estações menos chuvosa e chuvosa, em Salinópolis, Pará.

Ambiente	k	T _{0,5}	T _{0,05}
		----- meses -----	
		Menos chuvosa	
FL	0,0022 \pm 0,0006 A	10,94 \pm 2,72 A	47,37 \pm 11,79 A
PM	0,0027 \pm 0,0006 A	8,91 \pm 1,86 A	38,58 \pm 8,07 A
AD	0,0025 \pm 0,0014 A	8,53 \pm 3,85 A	36,94 \pm 16,68 A
		Chuvosa	
FL	0,0032 \pm 0,0011 AB	8,04 \pm 2,57 A	34,81 \pm 11,10 A
PM	0,0041 \pm 0,0008 A	5,51 \pm 1,20 A	23,85 \pm 5,20 A
AD	0,0020 \pm 0,0004 B	11,88 \pm 2,49 B	51,44 \pm 10,78 B

FL: Floresta; PM: Pomar de mangueiras; AD: Área degradada; k: constante de decomposição; T_{0,5}: tempo de decomposição de 50% da serapilheira.; T_{0,05}: tempo de decomposição de 95% da serapilheira. Valores seguidos pela mesma letra, na vertical indicam a comparação entre os ambientes para cada estação, menos chuvosa e chuvosa, não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A decomposição da serapilheira esta diretamente relacionada às condições ambientais (GARCÍA-PALACIOS et al., 2013). A diminuição da temperatura e a umidade do ar reduzem as taxas de decomposição devido à atividade microbiana, a qualidade e a composição da serapilheira (FRESHET et al., 2013; GARCÍA-PALACIOS et al., 2013; KEISER et al., 2013). O aumento das chuvas e das temperaturas mínimas do ar favorece a fauna do solo e proporcionam melhores condições para decomposição da serapilheira (GARCÍA-PALACIOS et al., 2013).

O processo de decomposição da serapilheira foi mais rápido nos 30 primeiros dias, em ambas as estações. Na estação menos chuvosa houve estabilidade na perda de massa da serapilheira entre 30 (MR_{30} : 80% - FL; 77% - PM; 81% - AD) e 150 dias nas três áreas de estudo (Tabela 3.6). Na estação chuvosa, a serapilheira foi decomposta em diferentes intensidades em cada ambiente, sendo que no PM o processo de decomposição da serapilheira foi maior em relação à FL e a AD. A perda de massa da serapilheira foi estabilizada na AD, enquanto que nas demais áreas a decomposição não se estabilizou. A decomposição da serapilheira inicialmente é rápida, e em seguida, torna-se lenta, seguindo o modelo exponencial (SOARES et al., 2008; HAYASHI et al., 2012).

Os valores de k apresentaram diferença entre estações ($p < 0,001$) e interação ambiente e estação ($p = 0,04$) (Tabela 3.2). Os valores médios de k foram semelhantes entre os ambientes estudados na estação menos chuvosa, enquanto que na estação chuvosa houve diferença ($p < 0,001$) (Tabela 3.2). O maior k foi obtido no PM durante a estação chuvosa, em relação à FL e a AD. Os valores médios de k obtidos para a estação menos chuvosa, nas três áreas de estudo, foram 19% menores quando comparados com a estação chuvosa. Nos ambientes estudados, em ambas as estações, os valores de k estiveram abaixo daqueles encontrados na literatura (CORRÊA et al., 2006; SOARES et al., 2008; HAYASHI et al., 2012; FONTES et al., 2014). Baixos valores de k diminuem a liberação e reduzem as taxas de transferência de nutrientes da serapilheira para o solo (FONTES et al., 2014).

Os resultados obtidos na FL para k estiveram próximos a florestas entre 10 e 20 anos de idade, 0,0033 e 0,0035, respectivamente, durante a estação chuvosa (Tabela 3.6). Na estação menos chuvosa, os valores obtidos neste estudo foram menores que os encontrados na literatura, entre 0,0033 e 0,0053, para florestas entre dez anos de idade e maduras, na Amazônia (HAYASHI et al., 2012).

O pomar de mangueiras apresentou valores de k menores que a literatura, em ambas as estações (Tabela 3.6). Foram observados os valores de 0,08 para mangueiras em SAF multietratificados, na Amazônia, e 0,58 em SAF com cacau, no nordeste brasileiro (CORRÊA et al., 2006; FONTES et al., 2014). Na área degradada também foram determinados resultados menores que a literatura, onde se obteve 0,65 em cultivo de cajueiros de oito anos de idade (SOARES et al., 2008). Apesar de este estudo ter sido realizado na Amazônia, seus resultados divergem do esperado, pois regiões tropicais tendem a decomposição mais rápida (GARCÍA-PALACIOS et al., 2013), ou seja, valores de k elevados, devido as elevadas temperaturas do ar e chuvas comuns na região.

O tempo de decomposição da serapilheira ($T_{0,5}$ e $T_{0,05}$) foi diferente entre ambientes ($p = 0,006$) e na interação entre estações e ambientes ($p = 0,002$) (Tabela 3.2). Durante a estação menos chuvosa foi necessário 10% a mais de tempo para que ocorra a decomposição da serapilheira em relação à estação chuvosa. Os valores deste estudo foram inferiores aos da literatura (Tabela 3.6), com exceção da FL na estação chuvosa que estiveram próximos aos $T_{0,5}$ e $T_{0,05}$, entre 7,00 e 6,60 meses; e de 30,30 e 28,57 meses, para florestas entre 10 e 20 anos de idade, respectivamente (HAYASHI et al., 2012). Para o sistema agroflorestal com mangueiras e SAF com cacau foram obtidos 0,29 e 0,04 meses, para $T_{0,5}$, e 1,25 e 0,17 meses, para $T_{0,05}$, nesta ordem (CORRÊA et al., 2006; FONTES et al., 2014). Em cajueiros foram encontrados, 0,04 e 0,15 meses, para $T_{0,5}$ e $T_{0,05}$, respectivamente (SOARES et al., 2008).

As diferenças entre os resultados desta pesquisa e a literatura para k , $T_{0,5}$, e $T_{0,05}$ estão relacionados aos distintos locais de estudo, às estações abrangidas pelos estudos, pois nenhum deles considerou a sazonalidade das chuvas, além disso, este estudo foi realizado em duas estações, menos chuvosa e chuvosa.

3.4 CONCLUSÕES

As mangueiras, mesmo na condição de monocultivo, produziram serapilheira em quantidades similares a floresta. No entanto, o pomar de mangueiras apresentou sazonalidade da produção de serapilheira, que se concentrou na estação menos chuvosa. O aporte de nutrientes ao solo via serapilheira no pomar de mangueiras foi similar a floresta, diferindo da área degradada. O processo de decomposição foi mais rápido no pomar de mangueiras, em relação a área degradada, especialmente durante a estação chuvosa. O pomar de mangueiras pode ser utilizado como alternativa para reabilitação de áreas degradadas, no nordeste paraense, pois proporciona a reabilitação da ciclagem de nutrientes e a proteção do solo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C.X.; PITA JUNIOR, J.L.; ROZANE, D.E.; SOUZA, H.A.; HERNANDES, A.; NATALE, W.; FERRAUDO, A.S. Nutrient cycling in mango trees. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v.35, n.1, p.259-266, 2014. (doi: 10.5433/1679-0359.2014v35n1p259).

ALMEIDA, E.J.; LUIZÃO, F.; RODRIGUES, D.J. Produção de serrapilheira em florestas intactas e exploradas seletivamente no sul da Amazônia em função da área basal da vegetação e da densidade de plantas. *Acta Amazonica*, Manaus, v.45, n.2, p.157-166, 2015. (doi: 10.1590/1809-4392201402543).

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, v.22, n.6, p.711-728, 2013. (doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507).

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. *Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas*. Campinas: Instituto Agronômico, 2009. 77p.

CHAZDON, R.L.; BRANCALION, P.H.S.; LAESTADIUS, L.; BENNETT-CURRY, A.; BUCKINGHAM, K.; KUMAR, C.; MOLL-ROCEK, J.; VIEIRA, I.C.G.; WILSON, S.J. When is a forest a forest? Forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration. *Ambio*, Nova Iorque, v.45, n.5, p. 538-550, 2016. (doi: 10.1007/s13280-016-0772-y).

CORRÊA, F.L.O.; RAMOS, J.D.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; MÜLLER, M.W. Produção de serrapilheira em sistema agroflorestal multiestratificado no Estado de Rondônia, Brasil. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.30, n.6, p.1099-1105, 2006. (doi: 10.1590/S1413-70542006000600008).

DAVENPORT, T.L. Reproductive physiology. In: LITZ, R. *The mango: Botany, production and uses*. Cambridge: CABI, 2009. p.97-169p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3a ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2013. 353p.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. 2015. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/>>. Acesso em: 21 nov. 2016.

FERREIRA, M.L.; SILVA, J.L.; PEREIRA, E.E.; LAMANO-FERREIRA, A.P.N. Litter fall production and decomposition in a fragment of secondary Atlantic forest of São Paulo, SP, southeastern Brazil. *Revista Árvore*, Viçosa, v.38, n.4, p.591-600, 2014. (doi: 10.1590/S0100-67622014000400002).

FONTES, A.G.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; SALES, M.V.S.; COSTA, M.G.; MACHADO, R.C.R. Nutrient stocks in litterfall and litter in cocoa agroforests in Brazil. *Plant and Soil*, Nova Iorque, v.383, n.1, p.313-335, 2014. (doi: 10.1007/s11104-014-2175-9).

FRESCHET, G.T.; CORNWELL, W.K.; WARDLE, D.A.; ELUMEEVA, T.G.; LIU, W.; JACKSON, B.G.; ONIPCHENKO, V.G.; SOUDZILOVSKAIA, N.A.; TAO, J.; CORNELISSEN, J.H.C. Linking litter decomposition of above- and below-ground organs to plant-soil feedbacks worldwide. *Journal of Ecology*, Nova Jersey, v.101, n.4, p.943-952, 2013. (doi: 10.1111/1365-2745.12092).

GANESHAMURTHY, A.N.; REDDY, Y.T.N. Fitness of mango for colonization in low fertility soils and dry lands: Examination of leaf life-span, leaf nutrient resorption, and nutrient use efficiency in elite mango varieties. *Agricultural Research*, Nova Iorque, v.4, n.3, p.254-260, 2015. (doi: 10.1007/s40003-015-0164-8).

GARCÍA-PALACIOS, P.; MAESTRE, F.T.; KATTGE, J.; WALL, D.H. Climate and litter quality differently modulate the effects of soil fauna on litter decomposition across biomes. *Ecology Letters*, Nova Jersey, v.16, n.8, p.1045-1053, 2013. (doi: 10.1111/ele.12137).

GERMANO, M.F.; VITORINO, M.I.; COHEN, J.C.P.; COSTA, G.B.; SOUTO, J.I.O.; REBELO, M.T.C.; SOUSA, A.M.L. Analysis of the breeze circulations in Eastern Amazon: an observational study. *Atmospheric Science Letters*, Nova Jersey, v.18, n.2, p.67-75, 2017. (doi: 10.1002/asl.726).

HAKIM, L.; MIYAKAWA, H. Plant trees species for restoration program in Ranupani, Bromo Tengger Semeru National Park Indonesia. *Biodiversity Journal*, Palermo, v.4, n.3, p.387-394, 2013.

HAYASHI, S.N.; VIEIRA, I.C.G.; CARVALHO, C.J.R.; DAVIDSON, E. Linking nitrogen and phosphorus dynamics in litter production and decomposition during secondary forest succession in the eastern Amazon. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*, Belém, v.7, n.3, p.283-295, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manual técnico da vegetação brasileira*. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 275p.

KEISER, A.D.; KNOEPP, J.D.; BRADFORD, M.A. Microbial communities may modify how litter quality affects potential decomposition rates as tree species migrate. *Plant and Soil*, Nova Iorque, v.372, n.1, p.167-176, 2013. (doi: 10.1007/s11104-013-1730-0).

KOTOWSKA, M.M.; LEUSCHNER, C.; TRIADIATI, T.; HERTEL, D. Conversion of tropical lowland forest reduces nutrient return through litterfall, and alters nutrient use efficiency and seasonality of net primary production. *Oecologia*, Nova Iorque, v.180, n.2, p.601-618, 2016. (doi: 10.1007/s00442-015-3481-5.).

KUMAR, P.; SHARMA, S.D.; SHARMA, N.C.; DEVI, M. The path coefficient analysis of yield components for leaf nutrient concentrations in mango (*Mangifera indica* L.) under rainfed agroclimatic conditions of north-west Himalaya. *Scientia Horticulturae*, Amsterdã, v.190, p.31-35, 2015. (doi: 10.1016/j.scienta.2015.02.042).

MALAVOLTA, E; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações*. Piracicaba: Editora POTAFOS, 1997. 319p.

MEDEIROS, A.A.; AMORIM, J.R.A.; SILVA, D.J.; DANTAS, J.A.; GUERRA, A.G. Mineral composition of leaves and fruits of irrigated mango trees in Rio Grande do Norte State, Brazil. *Acta Horticulturae*, Leuven, v.645, p.403-408, 2004. (doi: 10.17660/ActaHortic.2004.645.50).

PARSONS, S.A.; CONGDON, R.A.; SHOO, L.P.; VALDEZ-RAMIREZ, V.; WILLIAMS, S.E. Spatial variability in litterfall, litter standing crop and litter quality in a tropical rain forest region. *Biotropica*, Nova Jersey, v.46, n.4, p.378-386, 2014a. (doi: 10.1111/btp.12113).

PARSONS, S.A.; VALDEZ-RAMIREZ, V.; CONGDON, R.A.; WILLIAMS, S.E. Contrasting patterns of litterfall seasonality and seasonal changes in litter decomposability in a tropical rainforest region. *Biogeosciences*, Munique, v.11, n.8, p.5047-5056, 2014b. (doi: 10.5194/bg-11-5047-2014).

PÉREZ, V.; HORMAZA, J.I.; HERRERO, M. Reproductive biology of mango (*Mangifera indica*) in a Mediterranean climate. *Acta Horticulturae*, Leuven, v.1075, p.143-147, 2015. (doi: 10.17660/ActaHortic.2015.1075.15).

QUESADA, C.A.; LLOYD, J.; ANDERSON, L.O.; FYLLAS, N.M.; SCHWARZ, M.; CZIMCZIK, C.I. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. *Biogeosciences*, Munique, v.8, n.6, p.1415-1440, 2011. (doi: 10.5194/bg-8-1415-2011).

RAMOS, A.M.; SANTOS, L.A.R.; FORTES, L.T.G. *Normais climatológicas do Brasil 1961-1990*. Brasília: INMET, 2009. 465p.

RODRIGUES, J.C.; SOUZA, P.J.O.P.; LIMA, R.T. Estimate of base temperature and thermal requirement in mango for the northeast of Pará. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v.35, n.1, p.143-150, 2013. (doi: 10.1590/S0100-29452013000100017).

SALOMÃO, R.P.; VIEIRA, I.C.G.; BRIENZA JÚNIOR, S.; AMARAL, D.D.; SANTANA, A.C. Sistema Capoeira Classe: uma proposta de sistema de classificação de estágios sucessionais de florestas secundárias para o estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*, Belém, v.7, n.3, p.297-317, 2012.

SILVA, F.C.; ABREU, M.F.; PÉREZ, D.V.; EIRA, P.A.; ABREU, C.A.; van RAIJ, B.; GIANELLO, C.; COELHO, A.M.; QUAGGIO, J.A.; TEDESCO, M.J.; SILVA, C.A.; BARRETO, W.O. Métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. In: SILVA, F.C. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p.107-174.

SILVA, J.P.S.; NASCIMENTO, C.W.A.; SILVA, D.J.; CUNHA, K.P.V.; BIONDI, C.M. Changes in soil fertility and mineral nutrition of mango orchards in São Francisco Valley, Brazil. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v.9, n.1, p.42-48, 2014. (doi: 10.5039/agraria.v9i1a3466).

SOARES, I.; QUEIROZ, J.A.; OLIVEIRA, V.H.; CRISÓSTOMO, L.A.; OLIVEIRA, T.S. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes na cultura do cajueiro anão precoce. *Revista Árvore*, Viçosa, v.32, n.1, p.173-181, 2008. (doi: 10.1590/S0100-67622008000100019).

SOBRADO, M.A. Relationship between leaf micro- and macro-nutrients in top canopy trees in a mixed forest in the upper Rio Negro in the Amazon region. *American Journal of Plant Sciences*, Wuhan, v.5, n.10, p.1423-1431, 2014. (doi: 10.4236/ajps.2014.510157).

STASSEN, P.J.C.; GROVE, H.G.; DAVIE, S.J. Uptake, distribution and requirements of macro elements in 'Sensation' mango trees. *Acta Horticulturae*, Leuven, v.509, p.365-374, 2000. (doi: 10.17660/ActaHortic.2000.509.42).

THOMAS, R.J.; ASAKAWA, N.M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. *Soil Biology and Biochemistry*, Amsterdã, v.25, n.10, p.1351-1361, 1993. (doi: 10.1016/0038-0717(93)90050-L).

ZHANG, H.; YUAN, W.; DONG, W.; LIU, S. Seasonal patterns of litterfall in forest ecosystem worldwide. *Ecological Complexity*, Amsterdã, v.20, p.240-247, 2014. (doi: 10.1016/j.ecocom.2014.01.003).

4. MICROCLIMA EM SUB-BOSQUE DE POMAR DE MANGUEIRAS E ÁREA DEGRADADA NA AMAZÔNIA

Resumo: Modificações no uso da terra alteram o microclima regional. Este estudo teve como objetivo comparar o microclima em sub-bosque de um pomar de mangueiras e uma área degradada, no município de Salinópolis, nordeste do Estado do Pará, Brasil. O microclima no sub-bosque foi monitorado por meio da temperatura média do ar, temperatura mínima e máxima média do ar, amplitude térmica, e déficit de pressão de vapor de água na atmosfera. O acompanhamento foi realizado diariamente durante quatro estações distintas, denominadas início da estação chuvosa, estação chuvosa, estação de transição e estação menos chuvosa, no período de dezembro de 2015 a novembro de 2016. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado; cada dia foi considerado como uma repetição, variando conforme a estação entre 91 e 92 dias; em dois tratamentos: sub-bosque de pomar de mangueiras e sub-bosque da área degradada. A cobertura vegetal foi fator determinante na atenuação das temperaturas máximas e médias do ar no sub-bosque. Os menores valores das variáveis meteorológicas foram obtidos no sub-bosque do pomar de mangueiras, exceto a temperatura mínima do ar que foi menor no sub-bosque da área degradada. Os microclimas no sub-bosque diferem entre os dois ambientes, e o pomar de mangueiras pode amenizar o microclima no sub-bosque quando comparado a uma área degradada.

Palavras-chave: Conforto térmico. Temperatura do ar. Umidade relativa do ar.

MICROCLIMATE IN THE UNDERSTORY OF A MANGO ORCHARD AND A DEGRADED AREA IN AMAZON

Abstract: Changes in land use alter regional microclimate. In this study, we compared microclimate in the understory of a mango orchard and a degraded area, in Salinópolis city, northeast of the Pará state, Brazil. In both environments, we collected the following data: maximum, minimum and mean air temperature; thermal amplitude of the air and water vapor pressure deficit in the atmosphere. We collected data daily during four distinct seasons, according to rain seasonality: early rainy season, late rainy season, early dry season and late dry season, between December 2015 and November 2016. The experimental design was completely randomized. Each day of data collection was considered as one replicate and was divided into two treatments: understory of mango orchard and understory of degraded area. The number of replicates was the same for each environment and varied according to season between 91 and 92 days. The vegetation was the determining factor in mitigating the maximum average temperatures and the air in the understory. The vegetation cover affected positively temperature and humidity of the air under the canopy. The lowest values of meteorological variables were observed in the understory of mango orchard, except minimum air temperature, which was lowest in the understory of degraded area. The microclimatic variables in the understory differ between both environments, and mango orchard may improve the microclimate in the understory when compared to a degraded area.

Key words: Thermal comfort. Air temperature. Relative air humidity.

4.1 INTRODUÇÃO

A mudança de uso da terra provoca alterações no microclima da região. Estas modificações promovem alterações no balanço de energia da superfície através de mudanças no coeficiente de reflexão (albedo), aumento da temperatura do ar local, redução da evapotranspiração, além de promover impactos diretos no teor de vapor de água na atmosfera (SWANN et al., 2015).

A vegetação, principalmente de porte arbóreo, reduz as alterações das variáveis de microclima no sub-bosque durante no ciclo diário, além de diminuir a temperatura do ar e a variação do déficit de pressão de vapor de água (BAKER et al., 2015). O uso da arborização reduz a amplitude térmica e a temperatura do solo em 6,1 e 1,6 °C, respectivamente (RICCI et al., 2013), e diminui a temperatura do ar em 1,4 °C (VIEZZER et al., 2015) no sub-bosque. Portanto, o microclima no sub-bosque pode ser amenizado por meio da utilização de espécies de porte arbóreo (RICCI et al., 2013; VIEZZER et al., 2015), principalmente, em áreas que sofreram mudança de uso da terra e encontram-se em estado de degradação.

A mangueira (*Mangifera indica* L.) é uma árvore tropical, com folhas sempre verdes, sobrevive bem a períodos de seca e solos com pouca fertilidade (GANESHAMURTHY; REDDY, 2015). Também produz frutos que são fonte de nutrientes, vitaminas e fibras dietéticas (KUMAR et al., 2015). Em 2015, o Brasil produziu 976.815 T de mangas, a área colhida foi de 64.305 ha, e o rendimento médio foi de 15,19 T ha⁻¹; ocupando a sétima posição dentre as frutas tropicais produzidas no País (IBGE, 2016).

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo comparar o microclima em sub-bosque de um pomar de mangueiras e uma área degradada, no município de Salinópolis, nordeste do Estado do Pará, Brasil. A hipótese testada foi que o pomar de mangueiras pode amenizar o microclima no sub-bosque quando comparado a uma área degradada.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no sub-bosque de duas áreas distintas, um pomar de mangueiras (PM), e uma área degradada (AD), ambas localizadas no município de Salinópolis, Estado do Pará. O solo da área de estudo foi classificado como Latossolo

Amarelo Distrófico (EMBRAPA, 2013). A classificação climática é do subtipo Am, conforme Köppen, tropical chuvoso com pequena estiagem (ALVARES et al., 2013). A região apresenta temperatura e umidade relativa média do ar de 27 °C e 82,5%, nesta ordem; velocidade dos ventos e insolação médias de 1,75 m s⁻¹ e 2100 h, respectivamente, e a precipitação média anual de 2750 mm (RAMOS et al., 2009).

O pomar de mangueiras variedade Tommy Atkins (00°39'50,50"S, 47°17'04,10"W) foi implantado entre 1991 e 1993, em consórcio com a cultura da graviola. Depois o pomar foi abandonado. A partir de 2003 foi realizada a limpeza da área com a queima de restos culturais, este processo extinguiu as plantas de graviola. Atualmente, a área total do pomar é de 25 ha cultivado em sistema não irrigado, em espaçamento de 10 x 10 m. A produtividade média de frutos nas safras 2010/2011 e 2011/2012 foi de 15,66 T ha⁻¹ (RODRIGUES et al., 2013).

O local denominado área degradada (00°40'09,44"S, 47°17'47,58"W) foi utilizado na agricultura de corte e queima para implantação de cajueiros (*Anacardium occidentale* L.) para fins comerciais. Após a redução da produção, a área foi abandonada em 2012; onde se estabeleceu uma floresta secundária no estágio inicial da sucessão, chamada capoeirinha (SALOMÃO et al., 2012). Esta área perdeu serviços ecossistêmicos anteriormente prestados, como a redução na qualidade físico-química do solo quando comparado a um remanescente de Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras (IBGE, 2012) adjacente; a AD apresenta elevada densidade global do solo, 1,82 g cm⁻³; pouca porosidade total, 29%; e pequena quantidade de matéria orgânica, 10,21 g kg⁻¹; enquanto que na floresta, foram determinados os seguintes valores: 1,74 g cm⁻³; 32%; e 21,52 g kg⁻¹, respectivamente, na profundidade 10-20 cm do solo.

Para a caracterização do microclima no sub-bosque, foi delimitada uma parcela de 100 x 100 m, em cada área de estudo; no centro de cada parcela foi instalada uma estação meteorológica de superfície (EMS), onde foi instalado um termo higrômetro a 1,5 m de altura do solo, para o monitoramento diário da temperatura e umidade relativa do ar. No pomar de mangueiras foi utilizado o sensor modelo HMP155A (*Vaisala*). Na área degradada, o termo higrômetro faz parte de uma estação meteorológica integrada modelo Vantage Pro2 (*Davis*).

Também foi realizado o monitoramento diário das chuvas através de um pluviômetro (TB4, *Campbell Scientific*), instalado a 10,5 m de altura, acima da copa das mangueiras. Todos os sensores estavam conectados ao sistema automático de coleta de dados, datalogger, os quais realizavam leituras a cada dez segundos e armazenados em médias e totais a cada dez

minutos. No pomar de mangueiras foi utilizado o datalogger modelo CR1000 (*Campbell Scientific*), enquanto que na AD, este também estava integrado à EMS.

A partir dos dados de temperatura e umidade relativa do ar, o microclima no sub-bosque foi avaliado por meio da temperatura média do ar, temperatura mínima e máxima média do ar, amplitude térmica, e déficit de pressão de vapor de água na atmosfera. A amplitude térmica foi obtida através da diferença entre as temperaturas máxima e mínima média do ar. O déficit de pressão de vapor de água na atmosfera foi determinado pela diferença entre a pressão de saturação de vapor de água conforme equação proposta por Tetens (1930), e a pressão atual de vapor de água foi determinada pela umidade relativa do ar (PEREIRA et al., 2002). O déficit de pressão de vapor de água na atmosfera foi avaliado entre 10 e 15 h, por ser o período de maior demanda de água pela atmosfera na região (Figura 4.1).

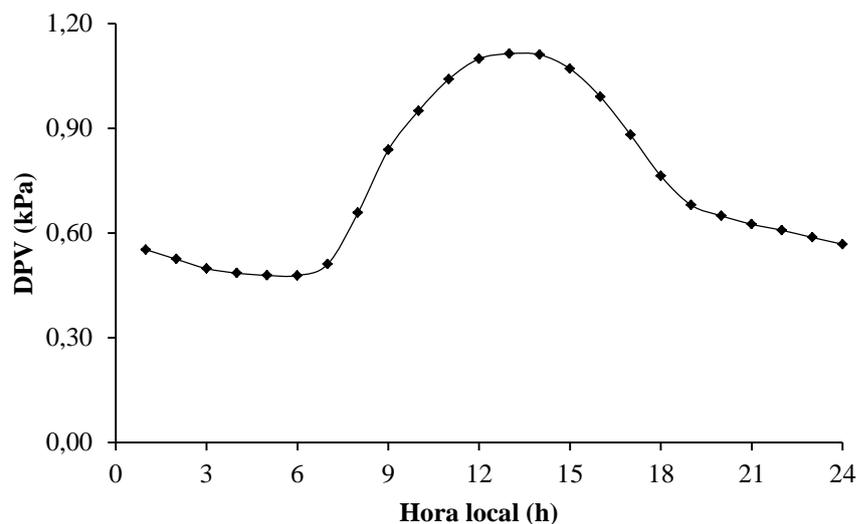


Figura 4.1. Demanda média diária de vapor de água pela atmosfera (DPV) no sub-bosque do pomar de mangueiras, em Salinópolis, Pará.

O monitoramento foi realizado no período de dezembro de 2015 a novembro de 2016. Este período foi dividido em quatro estações: dezembro de 2015 a fevereiro de 2016 (início da estação chuvosa – IEC); de março a maio de 2016 (chuvosa – EC); de junho a agosto de 2016 (transição – ET); e de setembro a novembro de 2016 (menos chuvosa – EMC), conforme classificação de chuvas no litoral paraense proposta por Moraes et al. (2015).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado e considerou dois tratamentos (sub-bosque de PM e sub-bosque da AD), quatro estações (IEC, EC, ET e EMC), e o número de repetições variou conforme a estação, ou seja, IEC e EMC tiveram 91 dias como repetições; e ET e EC, 92 dias. Para comparar os dois ambientes as variáveis

meteorológicas foram submetidas à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste t, a 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas através do software Systat (Systat, versão 12.02).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O total de chuvas entre dezembro de 2015 e novembro de 2016 foi de 1279,40 mm (Figura 4.2), abaixo da normal climatológica da região, 2750 mm (RAMOS et al., 2009). As poucas chuvas na região estiveram relacionadas à ocorrência do fenômeno oceano-atmosfera El Niño (2015-2016), este inibiu a formação de nuvens, condição desfavorável à ocorrência de chuvas na Amazônia (JIMÉNEZ-MUÑOZ et al., 2016).

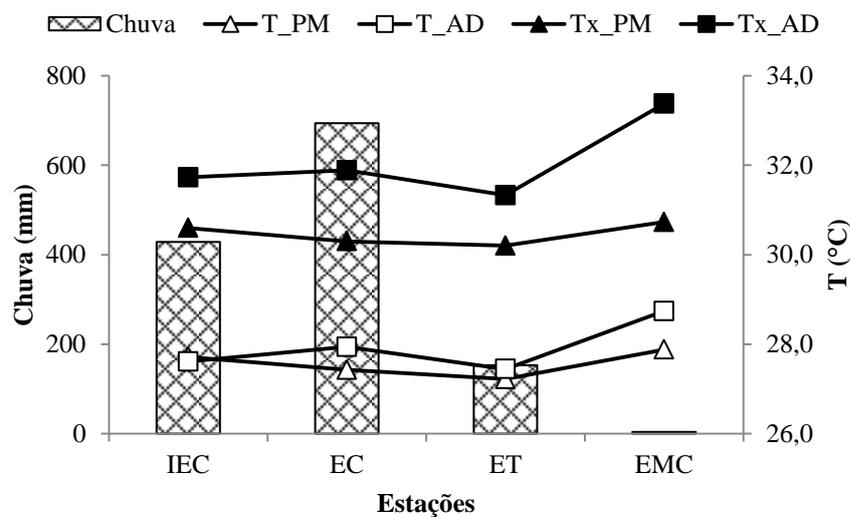


Figura 4.2. Chuva (barras) e temperatura do ar (linhas) no sub-bosque nos ambientes estudados, em quatro estações, em Salinópolis, Pará. T: Temperatura do ar; T_PM: Temperatura média do ar no pomar de mangueiras; T_AD: Temperatura média do ar na área degradada; Tx_PM: Temperatura máxima média do ar no pomar de mangueiras; Tx_AD: Temperatura máxima média do ar na área degradada; IEC: Início da estação chuvosa; EC: Estação chuvosa; ET: Estação de transição; EMC: Estação menos chuvosa.

As precipitações se concentraram na EC (693,80 mm) e os menores valores foram obtidos durante a EMC (4,20 mm) (Figura 4.2). As chuvas ocorridas na região de estudo durante a EC e a EMC estiveram abaixo dos limites de chuvas para o litoral do Estado do Pará, entre 1200 e 1500 mm, para a EC, e entre 400 e 600 mm, para a EMC (MORAES et al.,

2015). As chuvas nesta região também estão relacionadas à atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), principal sistema meteorológico sazonal que promove as chuvas na Amazônia; na estação chuvosa a ZCIT incrementa o volume de chuvas na Amazônia oriental (FERREIRA et al., 2015; MORAES et al., 2015). No início da estação chuvosa e na ET, as chuvas registradas foram de 428,60 e 152,80 mm, respectivamente.

Houve diferença significativa ($p < 0,001$) na comparação da temperatura máxima do ar no sub-bosque entre os ambientes estudados (Tabela 4.1). O pomar de mangueiras reduziu a temperatura máxima do ar no sub-bosque, em média, 1,63 °C em relação à AD. A maior redução da temperatura máxima do ar no sub-bosque entre os ambientes foi observada durante a EMC, 2,65 °C.

A redução da temperatura máxima do ar em sub-bosques foi relatada na literatura; onde foram encontradas as diminuições médias de 1,43 °C, em sub-bosques de seringueiras (*Hevea brasiliensis* L.), em Mococa, no Estado de São Paulo (VALENTINI et al., 2010); e de 2,20 °C, em sub-bosques de noqueira macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche), em São Mateus, no Estado do Espírito Santo (PEZZOPANE et al., 2010), na comparação com ambientes externos aos sub-bosques.

Para a temperatura mínima do ar no sub-bosque houve diferença entre os ambientes apenas para o IEC ($p = 0,042$) (Tabela 4.1). A temperatura mínima do ar no sub-bosque foi reduzida em 0,16 °C na AD em relação ao PM. Resultados similares foram encontrados por Pezzopane et al. (2015), em São Carlos, no Estado de São Paulo, onde o sub-bosque florestal com menor cobertura vegetal, apresentou temperatura mínima do ar 0,10 °C menor que em sub-bosque florestal com maior cobertura vegetal.

A temperatura média do ar no sub-bosque apresentou diferença entre os ambientes apenas na EC ($p = 0,041$) e na EMC ($p < 0,001$) (Tabela 4.1). O pomar de mangueiras reduziu a temperatura média do ar no sub-bosque em 0,37 °C quando comparado com a AD. Próximo aos resultados encontrados em São Carlos onde se obteve a redução de 0,25 °C, na temperatura média do ar no sub-bosque florestal com maior cobertura vegetal em relação ao sub-bosque florestal com menor cobertura vegetal (PEZZOPANE et al., 2015).

Em relação à temperatura do ar no sub-bosque, a cobertura vegetal foi fator determinante na atenuação das temperaturas máximas e médias do ar (Figura 4.2). O efeito da cobertura vegetal foi maior durante o período diurno quando comparado ao noturno, promovendo maiores modificações nas temperaturas máximas do que nas mínimas (Figura 4.3). Corroborando com outros estudos (PEZZOPANE et al., 2010; ARAÚJO et al., 2015).

Tabela 4.1. Média das temperaturas máxima, mínima e média, amplitude térmica do ar e déficit de pressão de vapor de água na atmosfera (média \pm desvio padrão) no sub-bosque dos ambientes estudados, e análise de variância, graus de liberdade do resíduo, valor de F, significância, e teste t, em quatro estações do ano, em Salinópolis, Pará.

Estação	Ambiente		ANOVA	
	PM	AD	GL	F
Temperatura máxima do ar (°C)				
IEC	30,60 \pm 0,67 A	31,73 \pm 1,16 B	122	44,95***
EC	30,30 \pm 1,03 A	31,89 \pm 0,45 B	107	38,95***
ET	30,20 \pm 0,43 A	31,33 \pm 0,25 B	107	110,98***
EMC	30,73 \pm 0,46 A	33,38 \pm 0,38 B	101	366,30***
Temperatura mínima do ar (°C)				
IEC	25,62 \pm 1,36 A	25,08 \pm 1,17 B	122	4,22*
EC	24,96 \pm 1,25 A	25,01 \pm 1,16 A	107	0,03 ^{ns}
ET	24,49 \pm 1,37 A	24,28 \pm 1,03 A	107	0,38 ^{ns}
EMC	26,22 \pm 0,54 A	26,28 \pm 0,58 A	101	0,09 ^{ns}
Temperatura média do ar (°C)				
IEC	27,72 \pm 0,89 A	27,61 \pm 1,15 A	122	0,29 ^{ns}
EC	27,43 \pm 0,98 A	27,94 \pm 0,69 B	107	4,29*
ET	27,22 \pm 0,67 A	27,45 \pm 0,28 A	107	1,89 ^{ns}
EMC	27,88 \pm 0,28 A	28,74 \pm 0,24 B	101	103,47***
Amplitude térmica do ar (°C)				
IEC	4,98 \pm 1,00 A	6,65 \pm 0,79 B	122	75,96***
EC	5,34 \pm 1,20 A	6,88 \pm 1,21 B	107	23,48***
ET	5,71 \pm 1,47 A	7,05 \pm 1,18 B	107	12,59**
EMC	4,51 \pm 0,55 A	7,10 \pm 0,53 B	101	236,32***
Déficit de pressão de vapor de água (kPa)				
IEC	1,05 \pm 0,31 A	1,05 \pm 0,43 A	122	0,00 ^{ns}
EC	0,86 \pm 0,30 A	1,03 \pm 0,19 B	107	4,92*
ET	1,12 \pm 0,13 A	1,22 \pm 0,10 B	107	8,76**
EMC	1,30 \pm 0,11 A	1,67 \pm 0,14 B	101	120,06***

ANOVA: Análise de variância; PM: Pomar de mangueiras; AD: Área degradada; GL: Graus de liberdade do resíduo; IEC: Início da estação chuvosa; EC: Estação chuvosa; ET: Estação de transição; EMC: Estação menos chuvosa. O nível de significância é indicado (*: $p < 0,05$, **: $p < 0,01$, ***: $p < 0,001$, ns: não significativo).

As amplitudes térmicas do ar no sub-bosque apresentaram diferença significativa ($p < 0,001$) entre os ambientes estudados (Tabela 4.1). As menores amplitudes térmicas no sub-bosque foram observadas no PM em relação à AD; a redução média da amplitude térmica no sub-bosque foi de 1,78 °C; a maior redução foi observada na EMC, 2,59 °C. Áreas vegetadas funcionam como isolantes térmicos, reduzindo a passagem de calor oriundo dos raios solares em direção ao solo, diminuindo a variação da amplitude térmica (PEREIRA et al., 2002).

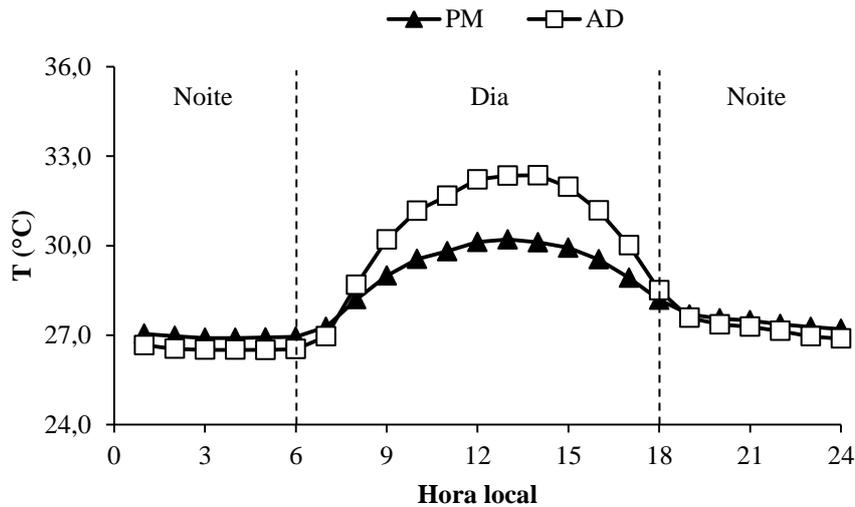


Figura 4.3. Média horária da temperatura média (T) do ar no sub-bosque durante a estação seca, em dois ambientes, no período diurno e noturno, em Salinópolis, Pará. PM: Pomar de mangueiras; AD: Área degradada.

A variação da temperatura do ar no sub-bosque também está relacionada ao balanço de energia nos ambientes estudados (PEREIRA et al., 2002). O pomar de mangueiras apresenta maior cobertura vegetal do que a AD, por isso, a vegetação da AD ofereceu pouca barreira para a passagem da radiação solar. Portanto, a maior parte da radiação líquida pode ter sido convertida em calor sensível, responsável pelo aquecimento do ar, proporcionando maiores temperaturas máximas, temperaturas médias e amplitudes térmicas do ar na AD em relação ao PM. Desta forma, o PM funciona como um isolante térmico, proporcionando maior conforto térmico em seu sub-bosque, enquanto que na AD, sua vegetação promove o isolamento térmico de baixa eficiência, por isso, é notório o desconforto térmico neste ambiente.

O déficit de pressão de vapor de água na atmosfera no sub-bosque apresentou diferença significativa entre os ambientes estudados na EC ($p = 0,029$), na ET ($p = 0,004$) e na EMC ($p < 0,00$) (Tabela 4.1). Houve aumento médio de 0,16 kPa no déficit de pressão de vapor de água na atmosfera no sub-bosque da AD quando comparado ao sub-bosque do PM.

Os menores valores do déficit de pressão de vapor de água na atmosfera no sub-bosque do PM demonstraram que devido a maior resistência aerodinâmica exercida por esta vegetação, o poder evaporante do ar local foi reduzido. A disposição das mangueiras no pomar forma uma barreira para os ventos; estes ao transpô-las chegam ao sub-bosque em velocidade reduzida e com menor poder renovador do gradiente de pressão de vapor entre a superfície evaporante e o ar; condição que reduz o déficit de pressão de vapor de água na atmosfera no sub-bosque do PM. Situação inversa foi observada na AD.

O déficit de pressão de vapor de água na atmosfera no sub-bosque obtido nesta pesquisa (Tabela 4.1) esteve no intervalo encontrado por outros estudos que variaram entre 0,64 e 1,38 kPa (PEZZOPANE et al., 2010; 2015). A utilização da arborização promove a absorção de vapor de água da atmosfera em seu sub-bosque tornando o ar mais úmido, proporcionando conforto térmico local; entretanto, o excesso de vapor de água na atmosfera do sub-bosque torna o ambiente desconfortável.

A reabilitação florestal através do uso de fruteiras mais rústicas, como as mangueiras poderia ser uma alternativa para que a AD voltasse a fornecer serviços ecossistêmicos, como a produção de alimentos e o controle do clima.

4.4 CONCLUSÕES

Os microclimas no sub-bosque do pomar de mangueiras e da área degradada foram diferentes, especialmente na estação menos chuvosa. O pomar de mangueiras promove a amenização do microclima no sub-bosque através da redução, principalmente, da temperatura máxima e amplitude térmica do ar em relação ao microclima no sub-bosque da área degradada; proporcionando um importante serviço ecossistêmico, como o serviço de regulação no controle do clima.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, v.22, n.6, p.711-728, 2013. (doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507).

ARAÚJO, A.V.; PARTELLI, F.L.; OLIVEIRA, M.G.; PEZZOPANE, J.R.M.; FALQUETO, A.R.; CAVATTE, P.C. Microclima e crescimento vegetativo do café Conilon consorciado com bananeiras. *Coffee Science*, Lavras, v.10, n.2, p.214- 222, 2015.

BAKER, D.J.; HARTLEY, A.J.; BURGESS, N.D.; BUTCHART, S.H.M.; CARR, J.A.; SMITH, R.J.; BELLE, E.; WILLIS, S.G. Assessing climate change impacts for vertebrate fauna across the West African protected area network using regionally appropriate climate projections. *Diversity and Distributions*, Nova Jersey, v.21, n.9, p.991-1003, 2015. (doi: 10.1111/ddi.12337)

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3a ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2013. 353p.

FERREIRA, D.B.S.; SOUZA, E.B.; MORAES, B.C.; MEIRA FILHO, L.G. Spatial and temporal variability of rainfall in eastern amazon during the rainy season. *The Scientific World Journal*, Cairo, v.2015, p.1-9, 2015. (doi: 10.1155/2015/209783)

GANESHAMURTHY, A.N.; REDDY, Y.T.N. Fitness of mango for colonization in low fertility soils and dry lands: Examination of leaf life-span, leaf nutrient resorption, and nutrient use efficiency in elite mango varieties. *Agricultural Research*, Nova Iorque, v.4, n.3, p.254-260, 2015. (doi: 10.1007/s40003-015-0164-8).

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção Agrícola Municipal 2015*. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manual técnico da vegetação brasileira*. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 275p.

JIMÉNEZ-MUÑOZ, J.C.; MATTAR, C.; BARICHIVICH, J.; SANTAMARÍA-ARTIGAS, A.; TAKAHASHI, K.; MALHI, Y.; SOBRINO, J.A.; van der SCHRIER, G. Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015-2016. *Scientific Reports*, Londres, v.6, n.33130, p.1-7, 2016. (doi: 10.1038/srep33130).

KUMAR, P.; SHARMA, S.D.; SHARMA, N.C.; DEVI, M. The path coefficient analysis of yield components for leaf nutrient concentrations in mango (*Mangifera indica* L.) under rainfed agroclimatic conditions of north-west Himalaya. *Scientia Horticulturae*, Amsterdã, v.190, p.31-35, 2015. (doi: 10.1016/j.scienta.2015.02.042).

MORAES, B.C.; SODRÉ, G.R.C.; SOUZA, E.B.; RIBEIRO, J.B.M.; MEIRA FILHO, L.G.; FERREIRA, D.B.S.; OLIVEIRA, J.V. Climatologia da precipitação na Amazônia. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v.08, n.05, p.1359-1373, 2015.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. *Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas*. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

PEZZOPANE, J.R.M.; BOSI, C.; NICODEMO, M.L.F.; SANTOS, P.M.; CRUZ, P.G.; PARMEJANI, R.S. Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in southeastern Brazil. *Bragantia*, Campinas, v.74, n.1, p.110-119, 2015. (doi: 10.1590/1678-4499.0334).

PEZZOPANE, J.R.M.; MARSETTI, M.M.S.; SOUZA, J.M.; PEZZOPANE, J.E.M. Condições microclimáticas em cultivo de café Conilon a pleno sol e arborizado com noqueira macadâmia. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.40, n.6, p.1257-1263, 2010. (doi: 10.1590/S0103-84782010005000098).

RAMOS, A.M.; SANTOS, L.A.R.; FORTES, L.T.G. *Normais climatológicas do Brasil 1961-1990*. Brasília: INMET, 2009. 465p.

RICCI, M.S.F.; COCHETO JUNIOR, D.G.; ALMEIDA, F.F.D. Condições microclimáticas, fenologia e morfologia externa de cafeeiros em sistemas arborizados e a pleno sol. *Coffee Science*, Lavras, v.8, n.3, p.379-388, 2013.

RODRIGUES, J.C.; SOUZA, P.J.O.P.; LIMA, R.T. Estimate of base temperature and thermal requirement in mango for the northeast of Pará. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v.35, n.1, p.143-150, 2013. (doi: 10.1590/S0100-29452013000100017).

SALOMÃO, R.P.; VIEIRA, I.C.G.; BRIENZA JÚNIOR, S.; AMARAL, D.D.; SANTANA, A.C. Sistema Capoeira Classe: uma proposta de sistema de classificação de estágios sucessionais de florestas secundárias para o estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*. Ciências Naturais, Belém, v.7, n.3, p.297-317, 2012.

SWANN, A.L.S.; LONGO, M.; KNOX, R.G.; LEE, E.; MOORCROFT, P.R. Future deforestation in the Amazon and consequences for South American climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdã, v.214-215, p.12-24, 2015. (doi: 10.1016/j.agrformet.2015.07.006).

TETENS, O. Über einige meteorologische Begriffe. *Zeitschrift Geophysic*, Wurzburg, v.6, n.1 p.297-309, 1930.

VALENTINI, L. S.P.; CAMARGO, M.B.P.; ROLIM, G.S.; SOUZA, P.S.; GALLO, P.B. Temperatura do ar em sistemas de produção de café arábica em monocultivo e arborizados com seringueira e coqueiro-anão na região de Mococa, SP. *Bragantia*, Campinas, v.69, n.4, p.1005-1010, 2010. (doi: 10.1590/S0006-87052010000400028).

VIEZZER, J.; BIONDI, D.; MARTINI, A.; SILVA, D.A. O benefício microclimático proporcionado pela Praça Alfredo Andersen na cidade de Curitiba-PR. *Ciência e Natura*, Santa Maria, v.37, p.138-143, 2015. (doi: 10.5902/2179460X16229).

CONCLUSÕES GERAIS

- 1) A sazonalidade das chuvas influenciou os atributos do solo especialmente na profundidade 5-10 cm e na área degradada. O pomar de mangueiras não melhora a qualidade do solo quando comparado a áreas degradadas.
- 2) O pomar de mangueiras proporcionam a recuperação da ciclagem de nutrientes e a proteção do solo. As mangueiras produzem serapilheira e apresentam aporte de nutrientes ao solo via serapilheira em quantidade similar a florestas secundárias; além disso, o processo de decomposição é mais eficiente no pomar de mangueiras, disponibilizando nutrientes ao solo de forma mais rápida, em relação à área degradada, especialmente durante a estação chuvosa.
- 3) As mangueiras cultivadas em pomares promovem amenização do microclima no sub-bosque através da redução, principalmente, da temperatura máxima e amplitude térmica do ar em relação ao microclima no sub-bosque da área degradada; proporcionando um importante serviço ecossistêmico, como o serviço de regulação no controle do clima.
- 4) O pomar de mangueiras pode ser utilizado como alternativa para reabilitação de áreas degradadas no nordeste paraense, pois reabilita importantes serviços ecossistêmicos, como a proteção do solo (serapilheira), a ciclagem de nutrientes e o controle do clima.