



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Impacto da redução da umidade e aumento da temperatura do solo na florística, estrutura e forma de vida de plantas na FLONA Caxiuanã, Amazônia Oriental

Arnold Patrick de Mesquita Maia¹, Mário Augusto G. Jardim² & Leandro Valle Ferreira³

¹ Biólogo. Discente do Programa de Pós-Graduação em Botânica Tropical. Coordenação de Botânica Museu Paraense Emílio Goeldi. arnold.patrick.bio@gmail.com. ² Pesquisador/Museu paraense Emílio Goeldi/Coordenação de Botânica. jardim@museu-goeldi.br. ³ Pesquisador/Museu paraense Emílio Goeldi/Coordenação de Botânica. lvferreira@museu-goeldi.br.

Artigo recebido em 04/02/2025 e aceito 16/12/2025

RESUMO

A umidade e temperatura do solo são indicadores em estudos ambientais para avaliar a qualidade da vegetação e a distribuição de água no solo sendo considerados fundamentais no ecossistema na previsão de secas, deficiências e conservação de recursos hídricos e a mitigação de impactos ambientais. A pesquisa teve como objetivo comparar os impactos da redução da umidade e aumento da temperatura do solo em relação a estrutura e florística de plantas do estrato do sub-bosque de uma floresta de terra firme na Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará. Foram delimitadas duas parcelas de 1 hectare cada divididas em 100 quadras de 10 x 10 metros, onde todas as formas de vida vegetal foram marcadas e identificadas ao nível mais específico. Os dados de umidade do solo foram coletados em três profundidades: superfície do solo, 50 cm e 100 cm de profundidade e de temperatura do solo na superfície, 20 cm e 50 cm de profundidade. A análise da composição florística ocorreu em 40 quadras de 10 x 10 m, 20 na parcela controle e 20 na experimental. A diferença da umidade e temperatura do solo, abundância de indivíduos e número de espécies de plantas entre as quadras da parcela controle e experimental foram comparadas com teste t, sendo a normalidade dos dados testada com Shapiro-Wilk. Concluiu-se que a redução hídrica artificial induzida na parcela experimental está provocando redução da abundância, diminuição e modificação da composição de espécies.

Palavras-chave: comunidade, mudanças climáticas, unidade de conservação.

Impact of reduced humidity and increased soil temperature on the floristics, structure and life form of plants in FLONA Caxiuanã, Eastern Amazon

ABSTRACT

Soil humidity and temperature are indicators in environmental studies to evaluate the quality of vegetation and the distribution of water in the soil, being considered fundamental in the ecosystem in predicting droughts, deficiencies and conservation of water resources and the mitigation of environmental impacts. The research aimed to compare the impacts of reduced humidity and increased soil temperature in relation to the structure and floristics of plants in the understory stratum of a dryland forest in the Caxiuanã National Forest, Pará. Two plots were delimited of 1 hectare each divided into 100 blocks of 10 x 10 meters, where all forms of plant life were marked and identified to the most specific level. Soil moisture data was collected at three depths: soil surface, 50 cm and 100 cm deep, and soil temperature at the surface, 20 cm and 50 cm deep. The analysis of floristic composition took place in 40 quadrats measuring 10 x 10 m, 20 in the control plot and 20 in the experimental plot. The difference in soil humidity and temperature, abundance of individuals and number of plant species between the blocks of the control and experimental plots were compared with the t test, and the normality of the data was tested with Shapiro-Wilk. It was concluded that the artificial water reduction induced in the experimental plot is causing a reduction in abundance, reduction and modification of species composition.

Keywords: community, climate change, conservation unit.

Introdução

A Amazônia é detentora da maior floresta tropical do planeta considerada o centro da biodiversidade singular (Espinoza et al., 2024). A bacia amazônica, cobrindo aproximadamente 6,87 milhões de km², é a maior bacia hidrográfica do mundo responsável por 20% do fluxo de água doce que chega aos oceanos. É o principal centro convectivo terrestre, interligado às circulações atmosféricas globais (Nobre et al., 2021). A floresta tropical amazônica tem papel fundamental no clima global e o Brasil é detentor de 60% deste bioma. No entanto, essas áreas estão sofrendo com os altos índices de desmatamento causando a perda dos serviços ambientais. Estes serviços incluem a manutenção da biodiversidade, a ciclagem de água e estoques de carbono que evitam o agravamento do efeito estufa (Fearnside, 2005). As florestas tropicais detêm elevada proporção da biodiversidade e biomassa mundial. Contudo, são sensíveis ao clima, com altas taxas de produtividade a nível mundial que juntamente com as savanas tropicais representam mais de 50% da produtividade primária bruta global (Beer et al., 2010). Qualquer perturbação que provoca alterações substanciais nos ciclos de carbono e água da floresta tropical é susceptível de consequências a nível mundial para a troca de massa e energia entre a superfície terrestre e a atmosfera. O provável aumento na ocorrência e gravidade dos extremos climáticos foi recentemente demonstrado como responsável pela mudança nos processos do ecossistema deste século. Compreender o impacto da seca sobre os ecossistemas florestais da Amazônia é essencial para a gestão do futuro ambiental da região (Davidson et al., 2012). As recentes secas em grande escala na Amazônia têm demonstrado os severos impactos na região, incluindo alterações no sumidouro de carbono das florestas (Meir e Woodward, 2010). Apesar de um número crescente de estudos nesta área, ainda é limitado o entendimento de como a floresta tropical responde à seca. Sem uma melhor compreensão ecológica, os modelos de resposta à seca continuarão com incerteza. As anomalias climáticas como El Niño e La Niña e o aumento da temperatura climática estão mais intensas, auxiliando de maneira direta na redução das vegetações, níveis alarmantes de precipitação, e inúmeros incêndios florestais que ajudam na perda da riqueza de diversas espécies. Os Cenários climáticos para a região indicam

maior probabilidade de secas intensas repetidas, como experimentados em 2005, 2010 e recentemente em 2023.

No solo, a umidade desempenha papel importante na manutenção e no funcionamento dos ecossistemas auxiliando no fluxo vivo e nos processos químicos, físicos e biológicos que são fundamentais para formação dos solos e novos minerais e para biota. A umidade do solo é regulada pelos padrões climáticos, pelas propriedades do solo, pelo relevo e pela biota, que inclui vegetação, animais e microrganismos (Yin et al., 2019). Os atuais modelos dinâmicos de vegetação ainda não conseguem identificar as respostas da floresta à seca, tais como são observados na natureza através de experimentos de exclusão da água no solo.

O aumento na taxa de mortalidade das árvores em resposta ao déficit de umidade do solo observada nas duas experiências foi consistente com a mortalidade durante a seca regional de 2005, ressaltando a importância e relevância da abordagem experimental. Deste modo, é evidente que os experimentos de seca induzida de longo prazo na Amazônia são cientificamente importantes (Meir e Woodward, 2015). A quantificação dos efeitos da seca sobre a floresta só pode ser alcançada através da realização de experimentos prolongados. Com o objetivo de investigar os efeitos causados pelo fenômeno El Niño na floresta amazônica e o impacto da seca artificial no funcionamento da floresta primária e o impacto nos processos físicos e suas consequências na biota local que serão utilizados na validação de modelos da dinâmica da vegetação foi implantado em 2001 na Estação Científica Ferreira Penna, Caxiuanã no estado do Pará, o experimento denominado de Estudo da Seca da Floresta (ESECAFLOR) (Costa et al., 2010).

O objetivo desse estudo foi comparar os impactos da redução da umidade e aumento da temperatura do solo em relação a estrutura e florística de plantas do estrato do sub-bosque de uma floresta de terra firme entre a parcela controle e experimental do projeto Seca Floresta na Amazônia oriental, Pará testar a hipótese de que as comunidades vegetais em diversas formas de vida são afetadas pelo aumento da temperatura.

Material e métodos

Área de estudo

Na Floresta Nacional de Caxiuanã (FLONA de Caxiuanã), no estado do Pará, no Projeto Seca Floresta (ESECAFLOR), situado na Estação Científica Ferreira Penna – ECFPn (01°42'30" S; 51°31'45" W), administrada pelo Museu Paraense Emílio Goeldi-MPEG (Figura 1). A região da FLONA de Caxiuanã possui o clima tipo Am, clima tropical quente de acordo com a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 26,7° C, com mínima média de 23° C e máxima de 32,7° C. A umidade relativa do ar média é de 87%. Na

FLONA de Caxiuanã existe variabilidade temporal da precipitação com dois períodos distintos, um de maior pluviosidade que compreende os meses de dezembro a maio, estação chuvosa e um de menor pluviosidade de junho a novembro (Santos Neto et al., 2023a, b). A estrutura física do ESECAFLOR é representada por duas parcelas de um hectare, uma denominada de controle e outra experimental onde ocorre a diminuição de água da chuva. Estas áreas são delimitadas por trincheiras cavadas com profundidades variando de 50 a 150 cm (Figura 2). A parcela controle é usada como referência para os experimentos realizados na parcela experimental.

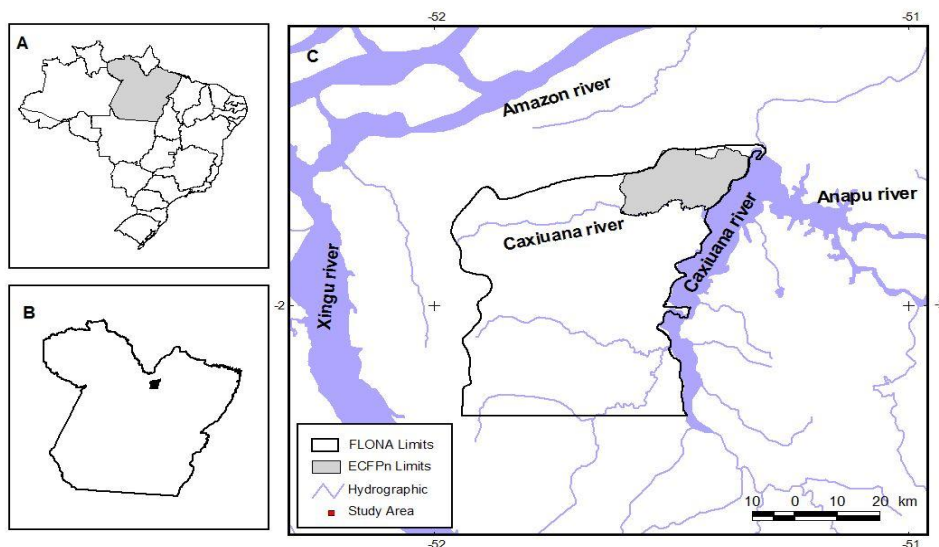


Figura 1. A. Mapa do Brasil mostrando o estado do Pará; B. Estado do Pará com a localização da Floresta Nacional de Caxiuanã e C. Área de trabalho e o limite da Estação Científica Ferreira Penna em relação a Floresta Nacional de Caxiuanã.

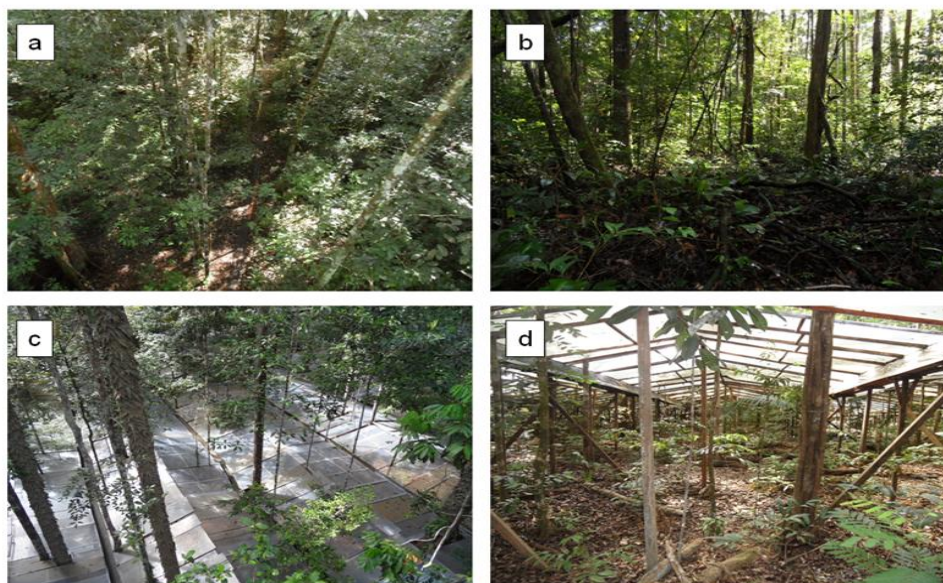


Figura 2. a.Vista superior e b.inferior do sub-bosque da floresta de terra firme na parcela controle e c. vista superior e d.inferior do sub-bosque da parcela experimental, do Projeto Seca Floresta (ESECAFLOR).

As parcelas foram divididas em 100 quadras de 10 x 10 metros, onde todas as plantas com formas de vida arbórea, cipós e lianas foram marcadas com placas de alumínio individuais e identificadas ao nível mais específico. A parcela experimental é recoberta por 6.000 painéis plásticos, instalados a uma altura média variando de 1,5 a 3,5 m acima do solo. Esses painéis direcionam a água da chuva para calhas impermeabilizadas com plástico, as quais apresentam um desnível de 2 m do início para o final da parcela, com intuito de direcionar a água por uma trincheira que exclui cerca de 50% dessa água para uma área distante da parcela (Costa et al., 2010). Em cada parcela existem três trincheiras com 5 metros de profundidade que são usados para as medições da temperatura e umidade do solo. As medições são feitas diariamente por sensores eletrônicos e armazenadas eletronicamente.

Os dados de umidade coletados em três profundidades: superfície do solo e a 50 cm e 100 cm de profundidade e de temperatura do solo registrados na superfície, 20 cm e 50 cm de profundidade e a análise da composição florística ocorreu em 40 quadras de 10 x 10 m, 20 na parcela controle e 20 na experimental nos anos 2017 e 2022. Na parcela experimental todas as quadras foram excluídas a fim de evitar qualquer efeito de borda da umidade adjacente. Dentro de cada quadra todas as plantas com formas de vida de árvore, arbusto,

liana e palmeira, entre 01 a 9,9 cm de diâmetro a altura do peito (DAP), foram marcadas com placas de alumínio numeradas, medidas e identificadas ao nível taxonômico mais acessível. As espécies foram identificadas em campo por um técnico especializado da Coordenação de botânica do Museu Paraense Emílio Goeldi e daquelas não identificadas foram coletados materiais férteis para posterior identificação. Para validar os nomes das espécies e respectivos autores e excluir as sinonímias botânicas foi consultada Lista de Espécies da Flora do Brasil (JBRJ, 2023) e o banco de dados do The PlantList (<http://www.theplantlist.org/>). Na classificação das angiospermas adotou-se o sistema APG IV (APG IV, 2016). A diferença da umidade e temperatura do solo, abundância de indivíduos e número de espécies de plantas entre as quadras da parcela controle e experimental foram comparadas com teste t, sendo a normalidade dos dados testada com Shapiro-Wilk (Zar, 2010). Foi realizada uma Análise de Dispersão Multivariada (PERMDISP), para avaliar diferenças na dispersão da comunidade de plantas nas quadras amostradas entre a parcela controle e experimental (Anderson, 2004; 2005). Uma Análise de Coordenadas Principais (PCoA) foi realizada no sentido de avaliar se os pontos amostrais se agrupavam em função das parcelas nos dois primeiros eixos gerados pela PCoA. As análises foram realizadas utilizando uma matriz

com base nas medidas de dissimilaridade descritas por Jaccard (presença e ausência de indivíduos). As análises foram realizadas no pacote Vegan no programa R versão 4.0.4 (www.r-project.org)

Resultados

Houve diminuição significativa da umidade do solo, nas três profundidades entre a parcela controle em comparação a parcela experimental variando de 32% a 63%. Houve aumento significativo da temperatura do solo, nas três profundidades, entre a parcela controle em comparação com a parcela experimental de 3% a 4% (Tabela 1). Foram marcados 1.901 indivíduos com formas de vida arbórea, arbustiva, lianas e palmeiras sendo 1.261 na parcela controle (A) e 640 na parcela experimental (B), uma redução de 49,2% da abundância de indivíduos. A maioria dos indivíduos obteve forma de vida arbórea, seguida

de lianas, arbustos e palmeiras. A forma de vida arbórea e arbustiva obtiveram redução da abundância de indivíduos entre a parcela controle em comparação a experimental, enquanto o oposto ocorreu com abundância de plantas com forma de vida de lianas e palmeiras (Tabela 2). Foram identificadas 289 espécies, 227 na parcela controle e 181 na experimental, uma redução de 20,3% na riqueza de espécies. Foram identificadas 241 espécies com forma de vida arbórea, 196 na parcela controle e 149 na experimental, uma redução de 23,9% na riqueza de espécies. Foram identificadas 19 espécies com forma de vida arbustiva, 12 na parcela controle e 11 na experimental (B) e foram identificadas 28 espécies com forma de vida de lianas, 21 na parcela controle e 20 na experimental (Tabela 2).

Tabela 1. Médias e diferenças da variação da umidade do solo em três profundidades entre a parcela controle e experimental do Projeto Seca Floresta (ESECAFLOR) nos anos de 2017 e 2022 (XPC= Média da parcela controle; XPE= Média da parcela experimental; DIF= Diferença das médias).

Umidade do solo					
Profundidade	XPC	XPE	DIF	test t	Prob
Superfície	17,25	6,35	-63%	4,176	0,0001
50 cm	14,53	9,86	-32%	7,071	0,0001
100 cm	18,01	6,99	-61%	8,334	0,0001
Temperatura do solo					
Profundidade	XPC	XPE	DIF	test t	Prob
Superfície	25,33	26,35	4%	-7,126	0,0001
20 cm	25,4	26,41	4%	-8,089	0,0001
50 cm	25,46	26,24	3%	-6,585	0,0001

Tabela 2. Abundância total e por parcela das formas de vida registradas no levantamento da comunidade de plantas do recrutamento no Projeto ESECAFLOR.

Forma de Vida	Parcela controle	Parcela Experimental	Varição (E/C)
Arbóreo	1160	536	-0.54
Arbustivo	189	19	- 0.90
Liana	72	37	0.21
Palmeira	2	3	0.50
Total	1261	640	- 0.49

Houve redução significativa da abundância de indivíduos e número de espécies em

nível geral do recrutamento e entre as formas de vida arbórea e arbustiva (Figura 3a, b e c) entre a

parcela experimental e controle. Dentro dos resultados ocorreu exceção com as plantas com forma de vida de liana que não obtiveram diferenças significativas (Figura 3d). Houve separação total da composição de espécies em nível geral do recrutamento e entre as formas de vida arbórea e arbustiva (Figura 4a, b e c), com exceção das formas de vida de liana cuja comunidade não se separou totalmente entre a parcela experimental e controle (Figura 4d). No caso das plantas com forma de vida arbórea, essa grande separação da composição de espécies da forma de vida arbórea

entre as parcelas é explicada pela grande dissimilaridade da composição das 10 espécies mais abundantes, pois somente *Lecythis idatimon* (Lecythidaceae), a espécie mais abundante em ambas as parcelas (Tabela 3). No caso das plantas com forma de vida arbustiva, destaques para *Faramea anysocalyx* (Rubiaceae) e *Eugenia coffeifolia* (Myrtaceae), com 60.5% e 17.3% do total de indivíduos amostrados, respectivamente, sendo que a 1ª espécie ocorreu somente na parcela controle, enquanto a 2ª teve grande abundância relativa (89%) também na parcela controle.

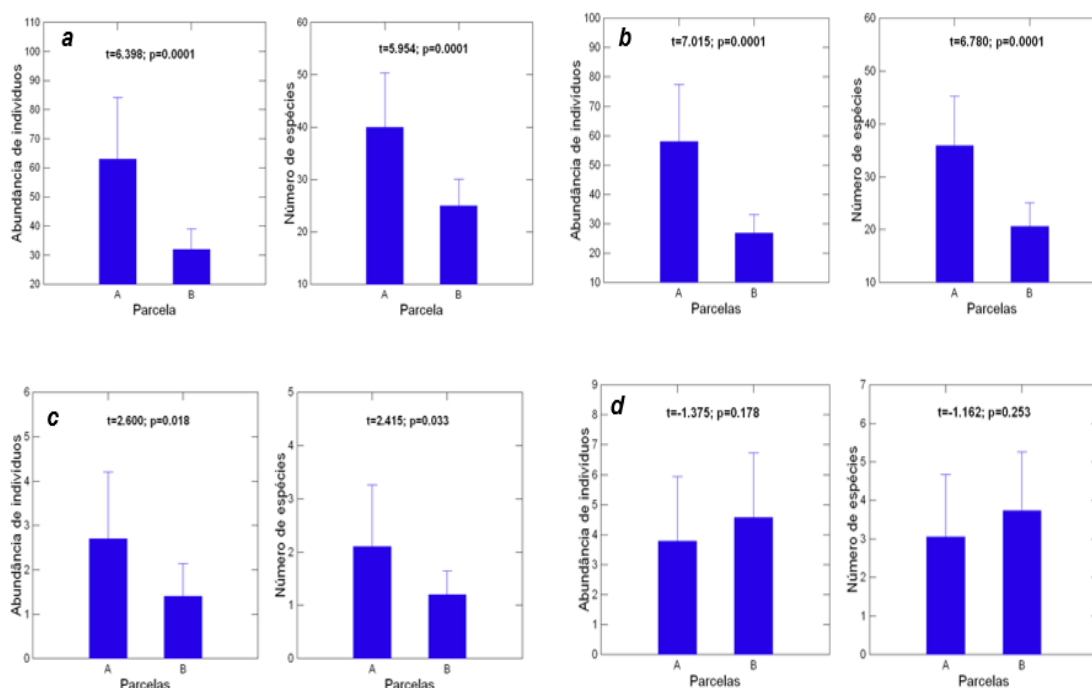


Figura 3. Média e desvio padrão da abundância de indivíduos e do número de espécies da comunidade de plantas do recrutamento (a) e por formas de vida arbórea (b), arbustiva (c), lianas (d) entre a parcela controle (A) e experimental (B) do Projeto ESECAFLOR.

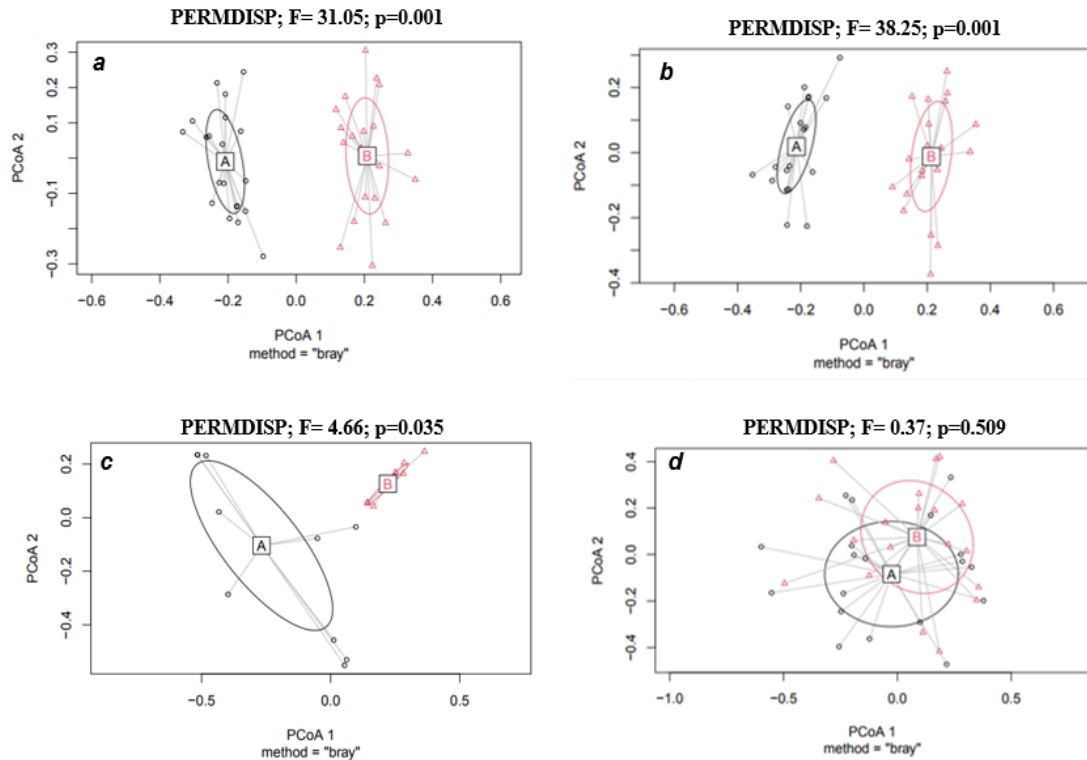


Figura 4. Análise de componentes Principais (PCoA) da composição de espécies da comunidade de plantas do recrutamento (a) e por formas de vida arbórea (b), arbustiva (c), lianas (d) entre a parcela controle (A) e experimental (B) do Projeto ESECAFLOR.

Tabela 3. Dez espécies com maior abundância de indivíduos com forma de vida arbórea na parcela controle e experimental do Projeto ESECAFLOR.

Parcela Controle		
Família	Espécie	Abundância
Lecythidaceae	<i>Lecythis idatimon</i> Aubl.	44
Melastomataceae	<i>Mouriri brachyanthera</i> Ducke	39
Annonaceae	<i>Duguetia cadaverica</i> Huber	33
Urticaceae	<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	26
Annonaceae	<i>Guatteria punctata</i> (Aubl.) R.A.Howard	24
Lecythidaceae	<i>Couratari multiflora</i> (Sm.) Eyma	22
Fabaceae	<i>Inga nobilis</i> Willd.	21
Burseraceae	<i>Protium aracouchini</i> (Aubl.) Marchand	21
Violaceae	<i>Rinorea guianensis</i> Aubl.	21
Chrysobalanaceae	<i>Licania impressa</i> Prance	20
Parcela Experimental		
Lecythidaceae	<i>Lecythis idatimon</i> Aubl.	30
Violaceae	<i>Rinorea pubiflora</i> (Benth.) Sprague & Sandwith	24
Chrysobalanaceae	<i>Hirtella racemosa</i> Lam.	18
Fabaceae	<i>Stryphnodendron guianense</i> (Aubl.) Benth.	18
Sapotaceae	<i>Pouteria filipes</i> Eyma	17
Chrysobalanaceae	<i>Licania canescens</i> Benoist	15
Humiriaceae	<i>Sacoglottis guianensis</i> Benth.	15
Sapotaceae	<i>Pouteria cladantha</i> Sandwith	14
Chrysobalanaceae	<i>Couepia guianensis</i> Aubl.	11
Sapotaceae	<i>Pouteria gongrijpii</i> Eyma	10

Discussão

A redução hídrica da precipitação na parcela experimental do Projeto ESECAFLOR, simulando a anomalia climática do El-Niño na Amazônia, e a consequente diminuição da umidade de solo em diferentes profundidades têm provocado mudanças na estrutura e florística da comunidade de plantas da floresta de terra firme. A comunidade de plantas com formas de vida distintas, foram afetadas negativamente na parcela experimental em comparação a controle, demonstrando que essas populações não são tolerantes a redução da umidade e o aumento da temperatura do solo provocado pela redução hídrica artificial em longo prazo na parcela experimental do Projeto ESECAFLOR. Neste contexto, Medeiros et al. (2014) e Ferreira et al. (2016) compararam a variação da umidade a 20 cm de profundidade entre a parcela controle e experimental do Projeto ESECAFLOR, determinando uma redução dessa umidade, variando de 34% a 68,5%, entre os anos de 2002 e 2011. A umidade do solo é um dos elementos que mais afeta o comportamento radicular das plantas, uma vez que ela é o principal elemento responsável pela diluição dos nutrientes que são absorvidos e utilizados para se crescimento e desenvolvimento das mesmas).

A queda significativa da umidade do solo, após o primeiro ano do Projeto ESECAFLOR demonstrou rápida mudança no ambiente decorrente da redução da quantidade de água que chega do solo na parcela experimental, sendo isso refletido na redução da densidade de indivíduos e na riqueza e composição espécies da comunidade de plantas da regeneração natural na parcela experimental em comparação a controle (Ferreira et al., 2016). O estresse hídrico tem sido apontado como fator limitante ao recrutamento de plantas. Contudo, Fernandes et al. (2020), em um monitoramento sobre a abundância de espécies do recrutamento de árvores do Projeto ESECAFLOR entre a parcela controle e experimental ao longo de 10 anos (2005 a 2015), com diâmetros maior ou igual a 10 cm, não demonstraram variação significativa entre elas.

Os resultados desse estudo mostram que houve diminuição significativa da abundância de indivíduos e na riqueza de espécies nas comunidades de plantas do recrutamento com diâmetros menores, entre de 1 a 9,9 cm. Esses

resultados contradizem os obtidos por Bartolomeu et al. (2020), Ferreira et al. (2016) e Rowland et al. (2015) onde as aberturas do dossel impulsionadas pela mortalidade das grandes árvores da parcela experimental do Projeto ESECAFLOR permitiram que houvesse maior incidência de luz sobre as pequenas árvores do sub-bosque. Isso também permitiu que as árvores menores fossem capazes de aumentar sua capacidade fotossintética facilitando o aumento do crescimento e consequentemente a recuperação parcial da biomassa acima do solo da floresta após a mortalidade precoce das árvores maiores induzida pela seca artificial no projeto ESECAFLOR (Rowland et al., 2015).

Em relação à comunidade de plantas do recrutamento com diâmetros de 1 a 9,9 cm, Lima (2022) utilizando dados coletados em 2017 no Projeto ESECAFLOR demonstrou uma diminuição da abundância de indivíduos e da riqueza e composição de espécies do recrutamento de pequenas árvores do sub-bosque (1-10 cm DAP) na parcela experimental em comparação a controle. Os dados coletados em 2022, também demonstraram os mesmos padrões, agora diferenciado por formas de vida, onde as comunidades de árvores e arbustos tiveram uma diminuição da abundância de indivíduos e do número de espécie. Além de uma clara diferenciação da composição de espécies entre as parcelas controle e experimental.

Outro resultado foi à redução populacional do arbusto *Faramea anysocalyx* (Rubiaceae), uma das espécies típicas do sub-bosque da floresta de terra firme de Caxiuana. Em 2017, em um levantamento de 20 quadras de 10 x 10 metros, 10 na parcela controle e 10 na experimental do Projeto ESECAFLOR foram amostrados 85 indivíduos (diâmetro 1 a 9,9 cm) na parcela controle e somente 10 indivíduos na parcela experimental, uma redução de 84% na abundância (Lima, 2022). Em 2022, foi realizado o mesmo procedimento, usando desta vez 40 quadras de 10 x 10 metros, 20 na parcela controle e 20 na experimental. Foram amostrados 128 indivíduos de *F. anysocalyx* na parcela controle e nenhum indivíduo na parcela experimental. Isso demonstra que estrutura da população de *F. anysocalyx* foi drasticamente reduzida na parcela experimental entre 2017 e 2022, provavelmente porque essa espécie de arbusto não tolera a redução da umidade do solo provocada pela redução hídrica artificial. A

comunidade de plantas com formas de vida de lianas com diâmetros de 1-9.9 cm tiveram um aumento na abundância de indivíduos e no número de espécies na parcela experimental em comparação a controle, resultados similares obtidos em 2017 (Lima, 2022). Isso pode ser consequência da maior abertura de dossel impulsionada pela mortalidade de grandes árvores (Rowland et al., 2015; Costa et al., 2010), permitindo que essas formas de vida aumentem a capacidade fotossintética e respiração foliar, apesar da redução da disponibilidade de umidade do solo e aumento de temperatura do solo.

Outro resultado surpreendente obtido em 2022 foi à redução da abundância de indivíduos e de espécies do recrutamento de plantas em nível de comunidade e a completa mudança da composição de espécies da parcela experimental em comparação a controle obtido em 2022, pois no levantamento botânico original realizado em 2001, esses padrões não foram diferentes entre as parcelas do Projeto ESECAFLOR. Desta forma, em somente 21 anos a redução hídrica artificial induzida na parcela experimental do Projeto ESECAFLOR apresenta atualmente menos biomassa, menor número de espécies poucos tolerantes ao ressecamento nas formas de vidas arbóreas e arbustivas do recrutamento. Alguns modelos climáticos predizem há uma grande possibilidade de ocorrer nas próximas décadas uma substituição abrupta e irreversível das áreas de floresta tropical úmida por formações vegetais abertas, mais secas e com menor biomassa, resultando em grande perda de biodiversidade. Os impactos das secas causados principalmente pelo produto das anomalias climáticas, como os incêndios florestais e secas extremas, estão cada vez mais comum, e ameaça toda biodiversidade o que pode ser irreversível, as florestas tropicais estão cada vez menos resilientes (Berenguer et al., 2021) estudos como esses corroboram com essa justificativas de que as florestas tropicais poderão entrar em uma linha inflexão quanto sua biodiversidade.

Conclusão

A redução hídrica artificial induzida na parcela experimental está provocando redução da abundância, diminuição e modificação da composição de espécies na parcela controle. Alguns modelos climáticos predizem ocorrer nas próximas décadas uma substituição abrupta e

irreversível das áreas de floresta tropical úmida por formações vegetais abertas, mais secas, com menor biomassa, riqueza de espécies e composição de espécies representadas por grupos biológicos mais tolerantes ao ressecamento.

Agradecimentos

Ao Conselho Científico e Tecnológico (CNPq) no âmbito do Programa de Pesquisa de Longa Duração (PELD) e pela concessão de Bolsa de Produtividade em Pesquisa para o segundo autor (Processo 306672/2021-9) e terceiro autor (Processo 312024/2021-5). Ao técnico de botânica Luiz Carlos Batista Lobato pelo auxílio na coleta de dados e identificação das espécies de plantas. Ao Dr. Antônio Carlos Lola da Costa, coordenador brasileiro do Projeto ESECAFLOR, pela cessão dos dados de umidade e temperatura do solo. A Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas – FAPESPA pelo apoio financeiro Convênio para Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação - PD&I - nº 009/2023 e a Empresa Benevides Madeiras LTDA pelo apoio técnico e logístico.

Referências

- Anderson, M.J. (2004). PERMDISP: a FORTRAN computer program for permutational analysis of multivariate dispersions (for any two-factor ANOVA design) using permutation tests. Department of Statistics, University of Auckland, New Zealand, v.24.
- Anderson, M.J. (2005). Permutational multivariate analysis of variance. Department of Statistics, University of Auckland, Auckland, v.26, p.32-46.
- APG. Angiosperm Phylogeny Group IV (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. Botanical Journal of the Linnean Society 181, 1-20. DOI: 10.1111/boj.12385.
- Bartholomew, D.C., et al. (2020). As pequenas árvores da floresta tropical têm maior capacidade de ajustar o metabolismo do carbono à seca de longo prazo do que as grandes árvores do dossel. *Planta, Célula e Meio Ambiente* 43, 2380-2393.
- Beer, C., Reichstein, M., Tomelleri, E., Ciais, P., Jung, M., Carvalhais, N., Rodenbeck, C., Altaf Arain, M., Baldocchi, D., Bonan, G.B., Bondeau, A., Cescatti, A., Lasslop, G., Lindroth,

- A., Lomas, M., Luysaert, S., Margolis, H., Oleson, K.W., Roupsard, O., Veenendaal, E., Viovy, N., Williams, C., Woodward, F.I., & Papale, D. (2010). Terrestrial gross carbon dioxide uptake: global distribution and covariation with climate. *Science* 329, 834-838. DOI:10.1126/science.1184984.
- Berenguer, E., Lennox, G.D., Ferreira, J., & Barlow, J. (2021). Tracking the impacts of El Niño drought and fire in human-modified Amazonian forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 118, e2019377118. DOI: 10.1073/pnas.2019377118.
- Costa, A.C.L., Galbraith, D., Almeida, S., Portela, Tanaka, B.T.T., Costa, M., Silva Junior, J.A., Braga, A.P., Gonçalves, P.H.L., Oliveira, A.A.R., Fisher, R., Phillips, O.L., Metcalfe, D.B., Levy, P. & Meir, P. (2010). Effect of 7 yr of experimental drought on vegetation dynamics and biomass storage of an eastern Amazonian rainforest. *New Phytologist* 187, 579-591. DOI:10.1111/j.1469-8137.2010.03309.x.
- Davidson, E.A., Araújo, A.C., Artaxo, P., Balch, J.K., Brown, I.F., Bustamante, M.M.C., Coe, M.T., Defries, R.S., Keller, M., Longo, M., Munger, J.W., Schroeder, W., Soares-Filho, B.S., Souza, C.M., & Wofsy, S.C. (2012). The Amazon basin in transition. *Nature* 481, 321-328.
- Fearnside, P.M. (2005). Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. *Megadiversidade*, 1, 113-123.
- Fernandes, A.M.M., Ruivo, M.L.P., & Costa, A.C.L. (2020). Composição florística e diversidade em floresta de terra firme sob estresse hídrico na Amazônia. *Cerne* 26, 403-412.
- Ferreira, L.V., Cunha, D.A., Parolin, P., & Costa, A.C.L. (2016). Impacts of experimental drought on community structure and floristic composition of tree saplings in a lowland tropical rainforest in Eastern Amazonia. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais* 11, 351-363.
- Flora do Brasil. (2023). Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>
- Lima, V.T. S. (2022). O impacto da redução hídrica artificial na comunidade de lianas e no recrutamento de árvores em uma floresta de terra firme na Amazônia Oriental Brasileira. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Evolução. Museu Paraense Emílio Goeldi. 62 pg.
- Medeiros, P.S., Ferreira, L.V., Costa, A.C.L. (2014). O impacto do estresse hídrico artificial na comunidade de samambaias e licófitas em um sub-bosque de floresta ombrófila na Amazônia Oriental. *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais* 9, 223-230. DOI:10.46357/bcnaturais.v9i1.546.
- Meir, P., Wood, T.E., Galbraith, D.R., Brando, P.M., Costa, A.C.L., Rowland, L., & Ferreira, L.V. (2015). Threshold responses to soil moisture deficit by trees and soil in tropical rain forests: insights from field experiments. *BioScience* 65, 882-892. DOI:10.1093/biosci/biv107.
- Rowland, L., Costa, A.C.L., Galbraith, D.R., Oliveira, R.S., Binks, O.J., Oliveira, A.A.R., Pullen, A.M., Dougghty, C.E., Metcalfe, D.B., Vasconcelos, S.S., Ferreira, L.V., Malhi, Y., Grace, J., Mencuccini, M., & Meir, P. (2015). Death from drought in tropical forests is triggered by hydraulics not carbon starvation. *Nature* 528, 119-122. DOI: 10.1038/nature15539.
- Santos Neto, C.A.L., Ferreira, L.V.F., Costa Neto, S.V., & Jardim, M.A.G. (2023a). Florística e estrutura da comunidade arbórea na floresta de terra firme da FLONA de Caxiuanã, Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 16, 001-035. DOI: 10.26848/rbgf.v16.1.p001-035.
- Santos Neto, C.A.L., Ferreira, L.V., & Jardim, M.A.G. (2023b). Estrutura diamétrica da comunidade de plantas na floresta de terra firme. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16, 3334-3346. DOI: 10.26848/rbgf.v16.6.p3334-3346.
- Yin, J., Porporato, A., D'odorico, P., & odriguez-lturbe, I. (2019). cohydrology. *Encyclopedia of Water: Science, Technology, and Society*, 1-21. OI:10.1002/9781119300762.wsts0026.
- Zar, J.H. (2010). *Biostatistical Analysis*. 5ª Ed. New Jersey: Prentice-Hall. Englewood Cliffs. 500 pp.