



Revista Brasileira de Geografia Física

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



Avaliação estatística do crescimento populacional de micro-organismos de solo associado à sazonalidade microclimática em uma floresta tropical úmida

Hernani José Brazão Rodrigues¹, Dênis José Cardoso Gomes², Antônio Carlos Lola da Costa³

¹Docente Doutor em Meteorologia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastres (PPGRD), Faculdade de Meteorologia (FAMET), Universidade Federal do Pará (UFPA). E-mail: hernani@ufpa.br, CV: <http://lattes.cnpq.br/1660618871530248>. ²Mestrando em Ciências Ambientais, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), Universidade do Estado do Pará (UEPA). E-mail: deniss.feg@gmail.com, CV: <http://lattes.cnpq.br/1987185580532060>. ³Doutor em Engenharia Ambiental, Museu Paraense Emílio Goeldi, Universidade Federal do Pará (UFPA). E-mail: lola@ufpa.br, CV: <http://lattes.cnpq.br/8489039131103228>.

Artigo recebido em 21/04/2022 e aceito em 22/06/2022

RESUMO

As condições climáticas modulam a disponibilidade hídrica em florestas tropicais, fator que impacta no comportamento dos micro-organismos do solo. Este estudo tem como objetivo avaliar estatisticamente as interações entre o microclima de uma floresta tropical primária e o crescimento das populações microbianas de solo, sob diferentes condições ambientais. Em conjunto, verificar a existência de diferença na proliferação de micro-organismos de solo com relação a diferentes tipos de terrenos e profundidades, além de quantificar sazonalmente a distribuição populacional de fungos e bactérias. Foi realizado durante um ano em duas áreas experimentais, PPBio (área de floresta densa natural) e ESECAFLOR (área de 1 hectares coberta para simulação de seca prolongada) em Caxiuanã-PA, utilizando a técnica "Pour Plate" de contagem em placas de "Petri" seguindo a metodologia proposta por De-Polli & Guerra. A variabilidade climática corroborou com a análise estatística ao aferir que a bactérias e fungos se desenvolvem independentemente do tipo de solo; e, comportam-se diferentemente em função do tempo, onde percebemos melhor proliferação de bactérias no tempo chuvoso, enquanto que os fungos obtiveram melhor proliferação durante o período seco. Garantindo a confiabilidade na amostra, provou-se que o nível de significância de 0,019 para bactérias e de 0,000 para os fungos, representam abundância de micro-organismos nas primeiras camadas de solo e menores nas últimas camadas de solo. Palavras-chave: Precipitação, Microfauna, Amazônia oriental.

Statistical evaluation of population growth of soil microorganisms associated with microclimatic seasonality in a humid tropical forest

ABSTRACT

Climatic conditions modulate water availability in tropical forests, a factor that impacts the behavior of soil microorganisms. This study aims to statistically evaluate the interactions between the microclimate of a primary tropical forest and the growth of soil microbial populations under different environmental conditions. Together, verify the existence of differences in the difference of types of soil microorganisms with respect to the relationship of terrains and depths, in addition to the distribution of seasonally quantify population bacteria and fungi. It was carried out for one year in two experimental areas, PPBio (area of dense natural forest) and ESECAFLOR (area of 1 hectares covered for simulation of prolonged drought) in Caxiuanã-PA, using the "Pour Plate" technique of counting plates of "Petri" following the methodology proposed by De-Polli & Guerra. Climatic variability corroborated the statistical analysis by verifying that bacteria and fungi develop independently of the type of soil; and, they behave differently depending on the weather, where we perceive better proliferation of bacteria in the rainy season, while the fungi obtained better proliferation during the dry period. Ensuring the reliability of the sample, it was proved that the significance level of 0.019 for bacteria and 0.000 for fungi, represent an abundance of microorganisms in the first layers of soil and smaller ones in the last layers of soil.

Keywords: Rainfall, Microfauna, Eastern Amazon.

Introdução

As mudanças climáticas impactam a Amazônia com a ocorrência de eventos extremos causadores de secas (Wigneron et al., 2020; Garcia et al., 2018; Browne et al., 2021; Marengo et al., 2022), onde pode influenciar no comportamento da comunidade de micro-organismos (Jansson; Hofmockel, 2020; Preciado et al., 2021; Zhang et al., 2022). Está situação é agravada com as modificações da paisagem que afetam negativamente o ecossistema de florestas tropicais úmidas, principalmente processos biogeoquímicos (Cusack et al., 2016; Covey et al., 2021), pois este ciclo da interação solo-planta-atmosfera é modulado pelos micro-organismos (Sun et al., 2017) que possuem uma grande biodiversidade na região amazônica (Villani et al., 2017). Onde até especula-se segundo prognósticos (Alkorta et al., 2017) a possibilidade de as mudanças climáticas afetarem a eficiência da biorremediação de alguns micro-organismos no solo. Tais relações de interdependência entre componentes biofísicos e atmosféricos são essenciais para o entendimento de variações quantitativas nas populações de micro-organismos de solo e de grande importância para o estabelecimento de espécies e manutenção da microfauna em diversos ecossistemas (Moscovich, 2004; Buscardo et al., 2018).

Há interesse ultimamente para o maior entendimento do comportamento dos micro-organismos sob os mais diferentes aspectos e cenários (Malik et al., 2020; Meyer et al., 2020; Barreiro; Díaz-Raviña, 2021) compreensão dessas inter-relações configura condições essenciais para o entendimento e distribuição espacial e temporal destes seres vivos nos diversos ecossistemas naturais, inclusive a microfauna de solo de florestas (Chapin et al., 2002; Tortora et al., 2005; Shen et al., 2021). Mudanças nas características edáficas do solo bem como nas condições microclimáticas, resultam em alterações nas populações desses micro-organismos quanto a densidade e distribuição em diferentes profundidades do solo (Moreira; Siqueira, 2002; Rodrigues et al., 2011).

Pelo fato da matéria orgânica se concentrar nas camadas mais superficiais do

solo, este estará mais suscetível às oscilações microclimáticas causadas pelos sistemas de uso e manejo adotados. Alterações espaciais levam em consideração tais fatores como topografia, proximidade de massas de água, ocorrência de clareiras, dentre outros, os quais são importantes na adequação do microclima de floresta (Longo; Espíndola, 2000). Além disso, a sazonalidade pluviométrica modifica outras componentes ambientais como o teor de umidade do solo, onde através desta relação há um impacto na eficiência de micro-organismos na decomposição de matéria orgânica e nutrientes (González-Pedraza; Dezzee, 2014; Pao; Upadhaya, 2019). A precipitação também é responsável pelo processo de deposição no solo de bactérias (Woo; Yamamoto, 2020) e fungos (Castaño et al., 2019) presentes na atmosfera. Outra questão importante sobre os micro-organismos são suas funções na respiração do solo.

Para Tomar e Baishya (2020), chuvas sazonais e umidade modulam a emissão de carbono do solo para a atmosfera, através da respiração heterotrófica que pode atingir em torno de 50 % da respiração total de uma floresta. Tais processos metabólicos são fundamentais para maior compreensão da influência do solo no agravamento do efeito estufa (Oertel et al., 2016; Lamberty et al., 2020). O'Connell et al. (2018) sugerem que extremos climáticos causadores de escassez hídrica impacta as funções biogeoquímicas do solo em florestas tropicais e nas emissões de gases do efeito estufa.

Entre os componentes da biota do solo as bactérias e os fungos detêm altos valores de biomassa e metabolismo respiratório, além de exercerem alta contribuição no processo de decomposição da matéria orgânica (Krishna; Mohan, 2017), ao passo que uma fauna variada desses dois grupos permite a degradação total de restos de plantas e animais (Vargas; Scholles, 2000). Por tanto, o comportamento desta microbiota subterrânea é um excelente indicador de qualidade de matéria orgânica e grau de perturbação por fatores externos como a pluviosidade (Camelo et al., 2021).

A população microbiana controla muitos processos vitais e de reciclagem de

nutrientes em ecossistemas florestais. Contudo, pouco se sabe a respeito dessas espécies de micro-organismos vivos em ecossistemas de florestas tropicais (Pajares; Bohannon, 2016) e suas respostas a múltiplas perturbações ambientais (Caruso; Bardgett, 2021), principalmente a secas extremas (Bouskill et al., 2016; Bardgett; Caruso, 2020). Pois segundo as previsões de Allen et al. (2017), a microfauna de florestas tropicais será sensível às mudanças nos padrões pluviométricos, especialmente no caso de aumento na frequência e intensidade das secas. Assim, torna-se fundamental a análise do comportamento desses micro-organismos em uma floresta tropical primária, sob alguns pontos de vista como estresse hídrico (Siebielec et al., 2020), variação do tempo e profundidade do solo (Zhao et al., 2021) pois a saúde do solo está relacionada as condições de variações climáticas (Lehmann et al., 2020).

Neste sentido, este estudo tem como objetivo fazer uma avaliação estatística das inter-relações entre o microclima e a variabilidade do crescimento populacional microbiana de solo em escala sazonal para uma floresta tropical, considerando duas parcelas de

um hectare, uma em condição simulada de estresse hídrico e outra de controle em condição normal.

Metodologia

Área de estudo

A Floresta Nacional de Caxiuanã é uma unidade de conservação federal do Brasil criada em 28 de novembro de 1961 por meio do Decreto nº 239. É a Floresta Nacional (FLONA) mais antiga da Amazônia Legal e a 2ª mais antiga do Brasil. Administrada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio, 1999), a FLONA ocupa parte do município de Melgaço (PA) e Portel (PA), distante cerca de 400 km de Belém (PA) na região centro-norte da Amazônia oriental, às margens da Baía de Caxiuanã. Essa baía é um alargamento do baixo rio Anapu, que deságua no estuário do Rio Amazonas.

Nesta reserva de 317.946,37 hectares, são desenvolvidas pesquisas da fauna, da flora, da climatologia e do homem na região. A Floresta ombrófila densa de terras baixas cobre 85 % da área, o restante é coberto por igapó (19 %) e manchas de vegetação aberta.



Figura 1. Localização da área de estudo: Floresta Nacional de Caxiuanã (Estação científica Ferreira Penna).

Para efeito de análise da distribuição sazonal da precipitação em Caxiuanã, foi utilizada a série climatológica da estação pluviométrica do IBAMA, com totais mensais de 38 anos (1980 a 2018). As estações do ano na região amazônica não são bem definidas, devido sua localização em baixa latitude que favorece a variabilidade anual de alguns elementos meteorológicos como: precipitação, temperatura do ar, radiação solar global e umidade relativa. O que fica caracterizado neste sentido são dois períodos distintos, chamados chuvoso e de estiagem, respectivamente e separados por intervalo temporal de transição.

Climatologicamente, o período chuvoso está compreendido de dezembro a maio, ao período de transição correspondem junho e julho e de agosto a novembro corresponde ao período de estiagem. As coletas de amostragem de solo para análises quantitativas de fungos e bactérias foram realizadas nos meses de março, julho e outubro, correspondentes ao período chuvoso, transição e estiagem, respectivamente.

Aquisição e Processamento de dados

As medições de variáveis microclimáticas e amostragens de solo foram feitas em dois sítios experimentais, o primeiro em um local denominado parcela “B” do projeto ESECAFLOR (Estudo de Seca na Floresta) que consiste na simulação de um período de seca prolongada para avaliar seu impacto nos fluxos de água e carbono em uma área de floresta tropical amazônica, investigando a influência da exclusão de água no solo sobre o ciclo da floresta e as alterações provocadas pelo evento El Niño. O segundo sítio está localizado na parte central da FLONA abrangendo a grade do Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio), que visa à criação de um sistema integrado de informações sobre biodiversidade para facilitar a gestão do patrimônio natural do País, assim como fortalecer ações de pesquisas para o desenvolvimento sustentável da Amazônia.

As amostragens de solo foram feitas em três pontos aleatórios ao redor da área onde estavam sendo medidas as variáveis climáticas em cada sítio experimental. Em cada ponto de amostragem foram coletadas quatro amostras de solo referentes às profundidades (5 cm, 10 cm, 20, 30 cm) em que estavam sendo medidas as temperaturas de solo, somando, portanto, doze amostras de solo em cada sítio experimental para cada época distinta do ano (Moura et al., 2015). O

método utilizado para determinação de densidade de populações de micro-organismos de solo está baseado na técnica “*Pour Plate*” de contagem em placas de “*Petri*”, seguida de identificação através de análise micromorfológica com as profundidades estabelecidas, utilizando os meios de cultura Agar Padrão (para bactérias) e Agar Batata acidificado (para fungos) através de metodologia tradicional utilizada no Laboratório de Microbiologia da Universidade do Estado do Pará - UEPA, com a identificação das colônias de micro-organismos por microscópio óptico eletrônico de varredura, seguindo a metodologia proposta por De-Polli e Guerra (1999). Para este estudo consideram-se apenas as médias de todas as amostragens referentes aos meses de representativos do período chuvoso (março), transição (julho) e estiagem (outubro) dos pontos ao redor do trado, em que este último não foi utilizado.

A análise de variância (ANOVA) é um teste estatístico amplamente difundido entre os analistas, e visa fundamentalmente verificar se existe diferença significativa entre as médias e se os fatores exercem influência em alguma variável dependente (Montgomery, 1996; Oh et al., 2016; Wang et al., 2020). Ou seja, a ANOVA tem por objetivo estudar a variabilidades dos dados, a partir da comparação de médias oriundas de grupos diferentes (Oh et al., 2016). Os testes estatísticos, bem como a ANOVA, testam hipóteses a respeito da população. Para tal, parte-se do pressuposto básico de duas hipóteses: a primeira é de que as médias dos dados são iguais, denominada de hipótese nula (H_0), e a hipótese alternativa (H_1) é de que existe diferença entre as médias dos dados.

Assim, para decidir por uma das hipóteses, pode-se estabelecer a probabilidade de isso acontecer, denominada de nível de significância (α). Onde, convencionalmente se escolhe o nível de significância $\alpha=0,05$, ou seja, com 95% de confiança pode-se afirmar algo sobre os dados (Vieira, 2006; Rocha et al., 2019). A partir da rejeição de hipótese nula, e confirmado que a diferença entre os dados, utiliza-se testes de comparações de médias, para identificar o porquê da diferença dos dados. Neste estudo, foi utilizado o teste de Tukey que tem por objetivo calcular a diferença mínima que deve haver entre duas médias para que elas possam ser consideradas diferentes a determinado nível de significância, portanto este teste realiza a diferença das médias em relação a média geral, duas a duas (Vieira, 2006; Wang et al., 2020).

Resultados

Precipitação pluvial

A média de precipitação total para o ano de 2018, na Flona de Caxiuanã apresentou um excedente de 27,7 % em relação à média climatológica de precipitação total no mesmo período, correspondente a soma de toda a precipitação medida nos períodos secos e de transição. Ou seja, choveu mais do que o esperado

no período chuvoso e menos nos períodos de transição e seco, onde tal excedente possivelmente foi reflexo do La Niña (2017-18) ocorrido (NOAA, 2022).

A Figura 2 apresenta a sazonalidade bem definida na região da FLONA. Na estação chuvosa (Dez-Mai) o destaque foram os meses de Fevereiro, Março e Maio com a precipitação muito acima da climatologia. A estação da estiagem foi marcada pelas precipitações totais abaixo da média na maioria dos meses.

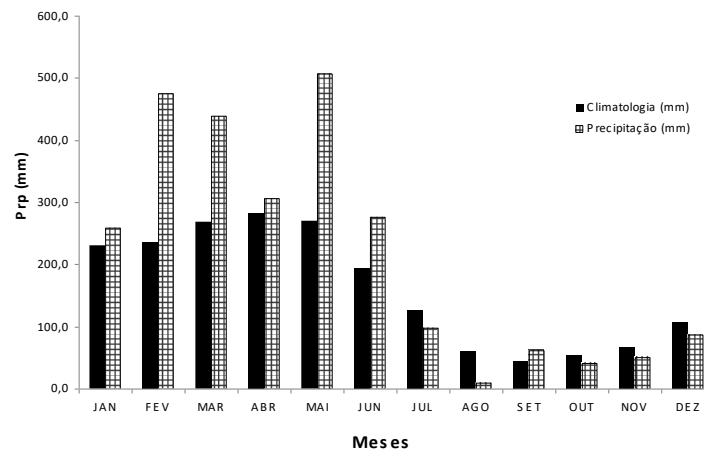


Figura 2. Distribuição da precipitação total mensal medida e das normais climatológicas. Fonte: Autores (2021).

Comportamento bacteriano e fúngico

Com base nas amostras de Unidade Formadora de Colônia por grama de (UFC/g) de solo obtidas a partir das análises micromorfológicas dos micro-organismos estudados, observa-se na Tabela 1

comportamentos distintos de acordo com o tipo de sítio e período de tempo atuante. Os maiores valores ocorreram no período chuvoso, com exceção na PPBIO à 30 cm de profundidade.

Tabela 1. Medidas de UFC/g de bactérias obtidas através da média de todos os 3 pontos coletados nos Sítios ESECAFLOR e PPBIO para as profundidades de 5, 10, 20 e 30 cm da superfície do solo.

Bactérias	cm	ESECAFLOR			PPBIO		
		Chuvoso	Transição	Seco	Chuvoso	Transição	Seco
		(Março)	(julho)	(outubro)	(março)	(julho)	(outubro)
	5	101,00	45,33	88,44	90,11	70,00	84,44
	10	85,56	38,67	37,33	78,00	57,33	32,00
	20	96,33	50,78	45,44	57,67	30,78	29,11
	30	72,11	32,00	45,11	19,44	24,11	21,44

Fonte: Autores (2021).

Na Tabela 2, os fungos comportam-se de maneira distinta. Observa-se na maioria dos cenários que os maiores valores foram no período seco. Outras pesquisas observaram a efeito diferente de variáveis climáticas no comportamento de fungos (Omomowo et al., 2017).

Deng et al. (2017) identificaram em uma floresta tropical o aumento em cerca de 51 % na população de bactérias e 58 % de fungos influenciados pelo regime de chuvas.

Tabela 2 – Medidas de UFC/g de Fungos obtidas através da média de todos os 3 pontos coletados nos Sítios ESECAFLOR e PPBIO para as profundidades de 5, 10, 20 e a 30cm da superfície do solo.

Fungos	cm	ESECAFLOR			PPBIO		
		Chuvoso	Transição	Seco	Chuvoso	Transição	Seco
		(Março)	(julho)	(outubro)	(março)	(julho)	(outubro)
	5	57,56	52,44	79,89	73,22	43,33	124,78
	10	46,00	49,11	44,11	42,33	22,33	52,11
	20	20,88	24,00	37,89	28,22	20,33	32,33
	30	15,89	12,67	21,67	7,44	14,33	9,11

Fonte: Autores (2021).

As Figuras 3 e 4 mostram que durante o período de intensas chuvas o quantitativo de bactérias é maior do que comparado à colônia de fungos em ambos os sítios estudados, além da maior profundidade, o quantitativo de fungos decresce, enquanto que as bactérias comportam-se de modo aleatório no sítio

ESECAFLOR, sugerindo a hipótese de as colônias migrarem para níveis mais profundos devido à escassez de água próxima a superfície. Diferentemente do que ocorre no sítio PPBIO onde as colônias diminuem gradativamente com aumento da profundidade.

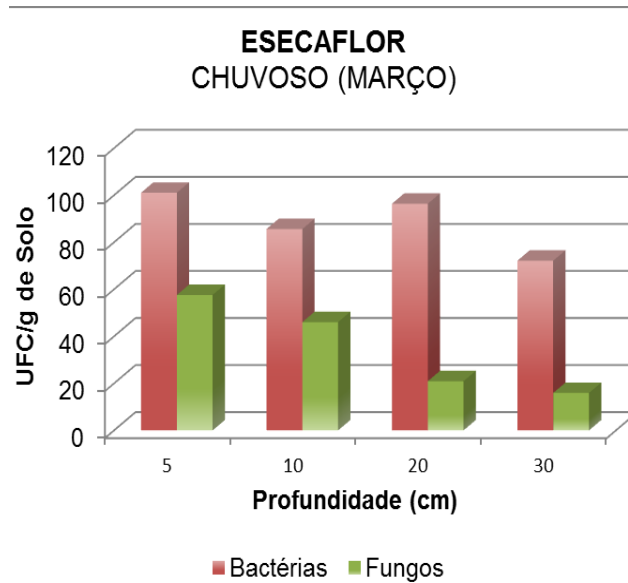


Figura 3. Relação Bactérias x Fungos para o Sítio ESECAFLOR durante o mês representativo do período chuvoso (março). Fonte: Autores (2021).

Em Pernambuco, Camelo et al. (2021) constataram que ao fim da estação chuvosa, houve o aumento da atividade dos micro-organismos no solo em uma área de

sistemas agroflorestais. Efeito da sazonalidade observado por Lima et al. (2015) em parcelas situadas na Amazônia ocidental.

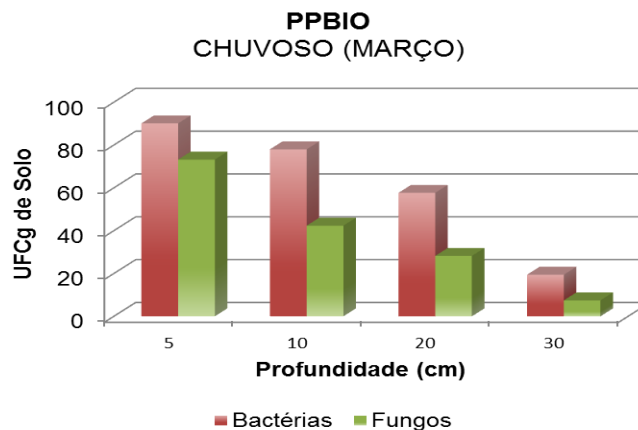


Figura 4. Relação Bactérias X Fungos para o Sítio PPBIO durante o mês representativo do período chuvoso (março). Fonte: Autores (2021).

Nas Figuras 5 e 6 representativas do período de transição, observa-se uma atuação concomitante entre o comportamento de colônias de bactérias e de fungos em relação ao período chuvoso. Porém, vale ressaltar que o número de

colônias de fungos supera o de bactérias nas profundidades de 5 e de 10 cm. No entanto a quantidade de colônias de bactérias encontradas na profundidade de 20 cm supera a observada nas duas profundidades anteriores.

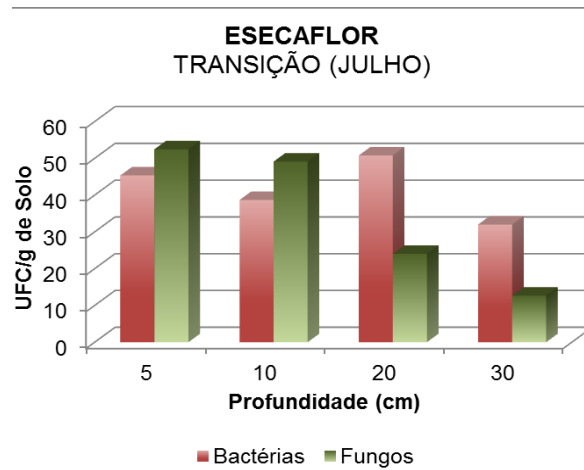


Figura 5. Relação Bactérias x Fungos para o Sítio ESECAFLOR durante o mês representativo do período de transição (julho). Fonte: Autores (2021).

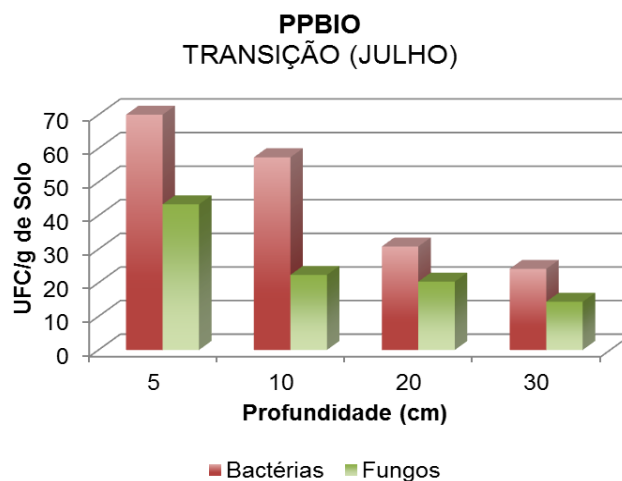


Figura 6. Relação Bactérias x Fungos para o Sítio PPBIO durante o mês representativo do período de transição (julho). Fonte: Autores (2021).

Nas Figuras 7 e 8 mostram o comportamento do perfil fúngico e bacteriano no período mais seco do ano, onde observa-se a maior proliferação de colônias de fungos, no sítio PPBIO à 5 cm da superfície do solo. E neste sítio e período obteve-se os menores registros de colônias de bactérias durante o estudo. Pressupondo, uma tendência de melhor desenvolvimento

dos fungos aos solos mais áridos e os mais úmidos às bactérias. Todavia, fica evidenciado que em condições normais, o aumento da profundidade é desfavorável ao crescimento de colônias de quaisquer micro-organismos estudados, devido ao fato destes sobreviverem da decomposição de matéria orgânica disponível em maior quantidade na superfície do solo.

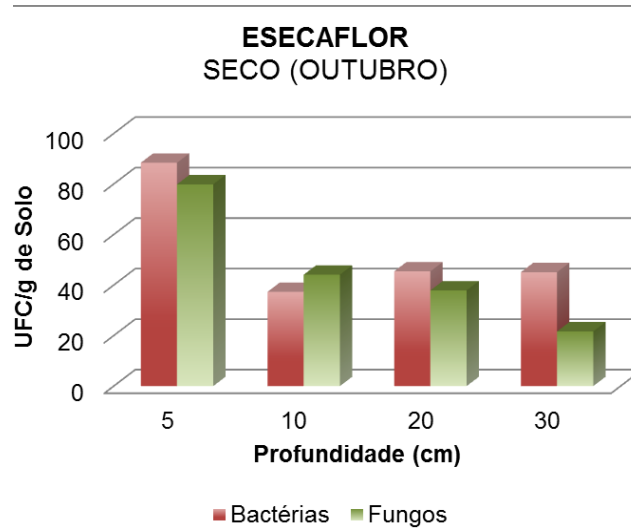


Figura 7. Relação Bactérias x Fungos para o Sítio ESECAFLOR durante o mês representativo do período seco (outubro). Fonte: Autores (2021).

Schimel et al. (2018) sugeriu que as comunidades de micro-organismos do solo são resistentes aos efeitos da seca. O mesmo autor ainda relatou que apesar da atividade microbiana aumentar no período chuvoso, é

difícil afirmar que os processos realizados pelos micro-organismos no solo intensificaram devido ao crescimento da população ou ao condicionamento da matéria orgânica feito pela ação da água.

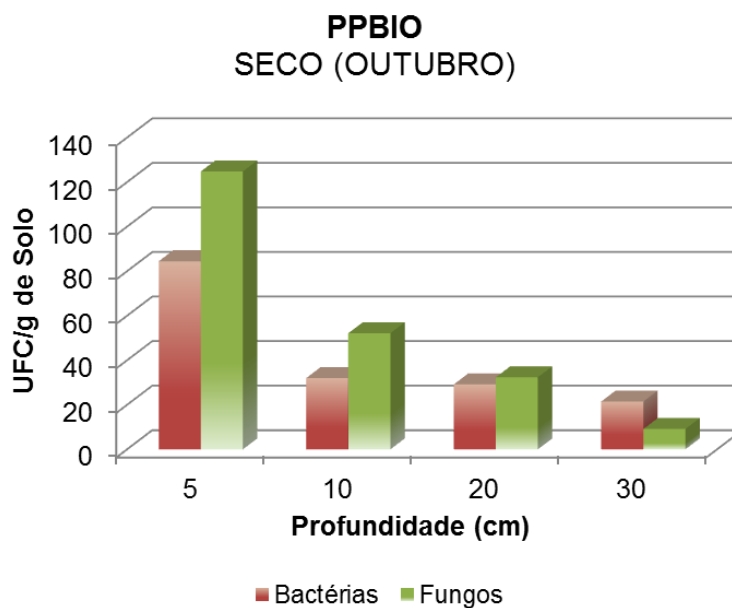


Figura 8. Relação Bactérias x Fungos para o Sítio PPBIO durante o mês representativo do período seco (outubro). Fonte: Autores (2021).

Estatística

Micro-organismos x Tipo de Sítios

H₀: Não existe diferença no valor médio de bactérias e/ou fungos encontrados nos terrenos. H₁: Existe diferença no número médio de bactérias e/ou fungo encontrados nos terrenos.

Tabela 3. Média e Nível de Significância, do Cruzamento entre o Micro-organismo e Tipo de Sítios.

		Média	Sig
Bactéria	Esecaflor	61,51	0,274
	PPBio	49,65	
Total		55,58	
Fungos	Esecaflor	38,51	0,954
	PPBio	39,16	
Total		38,83	

Fonte: Autores (2021).

Micro-organismos x Tempo

H₀: Não existe diferença no valor médio de bactérias e/ou fungo encontrados nos tempos. H₁: Existe diferença no número médio de bactérias e/ou fungo encontrados nos tempos.

Com 95% de confiança (Tab. 4), a proliferação de bactérias e fungos não apresenta o mesmo comportamento quando correlacionados com o tempo. Pois no caso da proliferação de bactérias rejeita-se a hipótese nula, ou seja, com nível de significância de 0,023, o número de bactérias é maior no tempo chuvoso que nos demais tempos. E no caso a proliferação de fungos rejeita-se a hipótese nula e o número de fungos aumenta no período seco.

Conforme Wu et al. (2020) o aumento da precipitação afeta na diversidade

Com 95 % de confiança (Tab.3), não se rejeita a hipótese nula e pode-se dizer que a proliferação de bactérias e fungos apresenta o mesmo comportamento e não depende do tipo de solo coletado.

dos micro-organismos do solo. Por tanto, nos cenários de mudanças climáticas e havendo cada vez mais eventos extremos (Marengo et al., 2021; Speer et al., 2021), os micro-organismos habitantes do solo adotam medidas de adaptação ao clima para eventuais reduções na disponibilidade de umidade no solo (Brangarí et al., 2020). Contudo, Leizeaga et al., 2020 em suas investigações constatou que bactérias e fungos possui distintas relações com a umidade do solo. Isto foi observado por Cruz-Paredes et al. (2021) que detectaram diminuição dos micro-organismos com a redução da umidade do solo. Chen et al. (2020) identificaram que a sazonalidade impacta na quantidade de água no solo e consequentemente nas comunidades de micro-organismos.

Tabela 4 - Média e Nível de Significância, do Cruzamento entre o Micro-organismo e Tempo.

		Média	Sig
Bactéria	Seco	47,91	0,023
	Chuvoso	75,19	
	Transição	43,63	
	Total	55,58	
Fungos	Seco	50,24	0,311
	Chuvoso	36,44	
	Transição	29,82	
	Total	38,83	

Fonte: Autores (2021).

Micro-organismos x Terreno x Profundidade

H_0 : Não existe diferença no valor médio de bactérias e/ou fungo encontrados nos diferentes terrenos e profundidades. H_1 : Existe diferença no número médio de bactérias e/ou fungo encontrados nos diferentes terrenos e profundidades.

Na Tab. 5, o nível de confiança de 95 % indica que a proliferação de bactérias e fungos não possuem o mesmo comportamento quando correlacionados com o tipo de terreno e a profundidades. Pois no caso da proliferação de bactérias não se rejeita a hipótese nula, ou seja, a proliferação de bactérias não depende do terreno e profundidade. E no caso a proliferação de fungos, rejeita-se a hipótese nula, com nível de significância de 0,002, o número de fungos é maior nos dois terrenos, na primeira camada de solo.

Chen et al. (2022) estudaram os efeitos dos tipos de uso da terra no comportamento dos microorganismos dos solos. Kroeger et al. (2020) alertaram sobre está temática, sugerindo que a retirada da

cobertura florestal para fins de pastagem altera a atividade microbiana e consequentemente aumenta a produção de gases do efeito estufa. Contudo, Rabello et al. (2021) propõem o uso de micro-organismos criados pela bioengenharia para melhorar a saúde do solo.

Micro-organismos x Profundidade

H_0 : Não existe diferença no valor médio de bactérias e/ou fungo encontrados nas diferentes profundidades. H_1 : Existe diferença no número médio de bactérias e/ou fungo encontrados nas diferentes profundidades.

A Tab. 6 descreve a relação de 95% de confiança dos micro-organismos e profundidade do solo, em que se rejeita a hipótese nula e a proliferação de bactérias e fungos apresenta o mesmo comportamento, assim como dependem da profundidade de solo coletado. Ou seja, com nível de significância de 0,019 e 0,000, respectivamente os números de bactérias e fungos são superiores nas primeiras camadas de solo e inferiores nas últimas camadas de solo.

Tabela 5. Média e Nível de Significância, do Cruzamento entre o Micro-organismo, Terreno e Profundidade.

		Média	Sig
Bactérias	Esecaflor - 0 a 5cm	78,26	0,063
	Esecaflor - 5 a 10cm	53,85	
	Esecaflor - 10 a 20cm	64,18	
	Esecaflor - 20 a 30cm	49,74	
	PPbio - 0 a 5cm	81,52	
	PPbio - 5 a 10cm	55,78	
	PPbio - 10 a 20cm	39,63	
	PPbio - 20 a 30cm	21,66	
	Total	55,58	
Fungos	Esecaflor - 0 a 5cm	63,30	0,002
	Esecaflor - 5 a 10cm	46,41	
	Esecaflor - 10 a 20cm	27,59	
	Esecaflor - 20 a 30cm	16,74	
	PPbio - 0 a 5cm	80,44	
	PPbio - 5 a 10cm	38,92	
	PPbio - 10 a 20cm	26,96	
	PPbio - 20 a 30cm	10,29	
	Total	38,83	

Fonte: Autores (2021).

Tabela 6. Média e Nível de Significância, do Cruzamento entre o Micro-organismo e Profundidade.

		Média	Sig
Bactéria	0 a 5cm	79,89	0,019
	5 a 10cm	54,82	
	10 a 20cm	51,91	
	20 a 30cm	35,70	
	Total	55,58	
Fungos	0 a 5cm	71,87	0,000
	5 a 10cm	42,67	
	10 a 20cm	27,28	
	20 a 30cm	13,52	
	Total	38,83	

Fonte: Autores (2021).

As mudanças climáticas observadas nas últimas décadas (Tabari, 2020) e seus impactos são fatores preocupantes para a resiliência da floresta amazônica (Boulton et al., 2022), pois futuras questões como o aumento da duração e frequência das secas extremas tornam-se problemas graves para solucionar-se.

A Amazônia é vulnerável a eventos de seca (Anderson et al., 2018; Garcia et al., 2018), característica que pode ser agravada sob influência das mudanças climáticas (Dalagnol et al., 2017). Ferreira et al. (2020) identificaram maiores tendências eventos extremos relacionado a seca nos municípios de Melgaço e Portel (FLONA). Os mesmos autores reforçam que alguns casos de escassez hídrica ocorreram no período chuvoso.

Deste modo, a comunidade científica alerta sobre os impactos das mudanças climáticas nos micro-organismos (Cavicchioli et al., 2019). E levantam questionamentos sobre até que ponto é correto a manipulação do microbioma vegetal para maior segurança alimentar sustentável com a finalidade de superar as alterações nos padrões do clima (Sharma et al., 2022).

Lepcha e Devi (2020) estudaram os efeitos da sazonalidade das chuvas e profundidade do solo

no comportamento da microfauna, em que detectaram maior presença microbiana na estação chuvosa. Mesmo comportamento observado por Melz e Tiago (2009) em uma área de transição entres os biomas Amazônia e Cerrado, contudo, alegaram que a cobertura vegetal influência nos níveis de umidade do solo e matéria orgânica impactando consequentemente na ação da microbiota do solo.

Descobertas apontam a adaptabilidade de fungos em cenários de seca, onde alguns desses agentes sob estresse hídrico aumentam a capacidade de captação do carbono e nitrogênio (Treseder et al., 2018), etapa fundamental na ciclagem dos nutrientes. Na região amazônica, as comunidades dos fungos são cruciais para a retroalimentação com a liberação de aerossóis para atmosfera, formação de nuvens precipitantes e posteriormente a chuva (China et al., 2018).

Por tanto, vários fatores ambientais influenciam no comportamento da microbiota do solo e interagem com está população. Nottingham et al (2018) mostrou a variação da diversidade microbiana entre a Amazônia e a região andina, em que atribuiu a diferença de temperatura e elevação de terreno como os principais responsáveis.

Conclusão

As análises qualitativas e quantitativas corroboraram com a análise estatística ao aferir que a proliferação de bactérias e fungos possuem o mesmo comportamento independentemente do tipo de solo; e, comportam-se diferentemente em função do tempo, onde percebemos melhor proliferação de bactérias no tempo chuvoso, enquanto que os fungos apresentaram melhor proliferação no período seco.

Variações no teor de água no solo influenciaram diretamente a proporção de fungos e bactérias, ou seja, ao aumentar o volume de água no solo, aumenta-se a população de bactérias e diminui a população de fungos. Todavia, o inverso desta relação só se observa para o sítio natural (PPBio), para o sítio ESECAFLOR, mesmo em época seca, populações de bactérias superam as populações de fungos.

Com 95 % de confiança e com nível de significância de 0,019 e 0,000 respectivamente, colônias de bactérias e fungos são maiores nas primeiras camadas de solo e menores nas últimas camadas de solo.

References

- Abatenh, E., Gizaw, B., Tsegaye, Z., Tefera, G., 2018. Microbial function on climate change – a review. *Open Journal of Environmental Biology*, 3 (1), 1-7.
- Alkorta, I., Epelde, L., Garbisu, C., 2017. Environmental parameters altered by climate change affect the activity of soil microorganisms involved in bioremediation. *Microbiology Letters*, 364 (19), 1-9.
- Allen, K., Dupuy, J. M., Gei, M. G., Hulshof, C., Medvigy, D., Pizano, C., Negret-Salgado, B., Smith, C. M., Trierweiler, A., Van Bloem, S. J., Waring, B. G., Xu, X., Powers, J. S., 2017. *Environmental Research Letters*, 12 (2), 1-15.
- Anderson, L. O., Ribeiro Neto, G., Cunha, A. P., 2018. Vulnerability of Amazonian forests to repeated droughts. *Philosophical Transactions B*, 373, 1-13.
- Bardgett, R. D., Caruso, T., 2020. Soil microbial community responses to climate extremes: resistance, resilience and transitions to alternative states. *Philosophical Transactions B*, 375, 1-13.
- Barreiro, A., Díaz-Raviña, M., 2021. Fire impacts on soil microorganisms: mass, activity, and diversity. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 22, 1-9.
- Boulton, C. A., Lenton, T. M., Boers, N., 2022. Pronounced loss of Amazon rainforest resilience since the early 2000's. *Nature Climate Change*, 12, 271-278.
- Bouskill, N. J., Wood, T. E., Baran, R., Ye, Z., Bowen, B. P., Lim, H. C., Zhou, J., Van Nostrand, J. D., Nico, P., Northen, T. R., Silver, W. L., Brodie, E. L., 2016. Belowground response to drought in a tropical forest soil. I. changes in microbial functional potential and metabolism. *Frontiers in Microbiology*, 7 (525), 1-11.
- Brangarí, A. C., Manzoni, S., Rousk, J., 2020. A soil microbial model to analyze decoupled microbial growth and respiration during soil drying and rewetting. *Soil Biology and Biochemistry*, 148, 1-20.
- Buscardo, E., Geml, J., Schmidt, S. K., Freitas, H., Cunha, H. B., Nagy, L., 2018. Spatial-temporal dynamics of soil bacterial communities as a function of Amazon forest phenology. *Scientific Reports*, 8 (4382), 1-13.
- Camelo, D., Dubeux Jr., J. C. B., Santos, M. V. F., Lira Jr., M. A., Fracetto, G. G. M., Francetto, F. J. C., Cunha, M. V., Freitas, E. V., 2021. Soil microbial activity and biomass in semiarid agroforestry system integrating forage cactus and tree legumes. *Agronomy*, 11 (8), 1-13.
- Caruso, T., Bardgett, R. D., 2021. Variance, locality and structure: three experimental challenges in the study of the response of soil microbial communities to multiple perturbations. *Pedobiologia – Journal of Soil Ecology*, 87-88, 1-12.
- Castaño, C., Bonet, J. A., Oliva, J., Farré, G., Aragón, J. M., Parladé, J., Pera, J., Alday, J. G., 2019. Rainfall homogenizes while fruiting increases diversity of spore deposition in Mediterranean conditions. *Fungal Ecology*, 41, 279-288.
- Cavicchioli, R., Ripple, W. J., Webster, N., S., et al., 2019. Scientist's warning to humanity: microorganisms and climate change. *Nature Reviews Microbiology*, 17, 569-586.

- Chapin, F. S., Matson, P. A., Mooney, H. A., 2002. Principles of terrestrial Ecosystem ecology. Nova York: Springer, 455 p.
- Chen, H., Zhao, X., Lin, Q., Li, G., Kong, W., 2020. Spring watering interactively improves aboveground net primary productivity and soil microbial biomass in a semi-arid grassland of China. *Catena*, 189, 1-8.
- Chen, Q., Yang, F., Cheng, X., 2022. Effects of land use change type on soil microbial attributes and their controls: data synthesis. *Ecological Indicators*, 138, 1-9.
- China, S., Burrows, S. M., Wang, B., Harder, T. H., Weis, J., Tanarhte, M., Rizzo, L. V., Brito, J., Cirino, G. G., Ma, P., Cliff, J., Artaxo, P., Gilles, M. K., Laskin, A., 2018. Fungal spores as a source of sodium salt particles in the Amazon basin. *Nature Communications*, 9 (4793), 1-9.
- Covey, K., Soper, F., Pangala, S., Bernardino, A., Pagliaro, Z., Basso, L., Cassol, H., Fearnside, P., Navarrete, D., Novoa, S., Sawakuchi, H., Lovejoy, T., Marengo, J., Peres, C. A., Baillie, J., Bernasconi, P., Camargo, J., Freitas, C., Hoffman, B., Nardoto, G. B., Nobre, I., Mayorga, J., Mesquita, R., Pavan, S., Pinto, F., Rocha, F., Mello, R. A., Thuault, A., Bahl, A. A., Elmore, A., 2021. Carbon and beyond: the biogeochemistry of climate in a rapidly changing Amazon. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4, 618401, 1-20.
- Cruz-Paredes, C., Tájmel, D., Rousk, J., 2021. Can moisture affect temperature dependences of microbial growth and respiration? *Soil Biology and Biochemistry*, 156, 1-10.
- Cusack, D. F., Karpman, J., Ashdown, D., Cao, Q., Ciochina, M., Halterman, S., Lydon, S., Neupane, A., 2016. Global change effects on humid tropical forests: evidence for biogeochemical and biodiversity shifts at an ecosystem scale. *Reviews of Geophysics*, 54 (3), 523-610.
- Dalagnol, R., Borma, L. S., Mateus, P., Rodriguez, D. A., 2017. Assessment of climate change impacts on water resources of the Purus basin in the southwestern Amazon. *Acta Amazônica*, 47 (3), 213-226.
- Deng, Q., Hui, D., Chu, G., Han, X., Zhang, Q., 2017. Rain-induced changes in soil CO₂ flux and microbial Community composition in a tropical forest of China. *Scientific Reports*, 7 (5539), 1-19.
- De-Polli, H., Guerra, J. G. M., 1999. Carbono, nitrogênio e fósforo na biomassa microbiana do solo. UFRS: Porto Alegre, 508p.
- Ferreira, D. B. S., Souza, E. B., Oliveira, J. V., 2020. Identificação de extremos de precipitação em municípios do Estado do Pará e sua relação com os modos climáticos atuantes nos oceanos Pacífico e Atlântico. *Revista Brasileira de Climatologia*, 27, 197-222.
- Garcia, B. N., Libonati, R., Nunes, A. M. B., 2018. Extreme drought events over the Amazon basin: the perspective from the reconstruction of South American Hydroclimate. *Water*, 10 (1594), 1-16.
- González-Pedraza, A. F., Dezzio, N., 2014. Effects of land use change and seasonality of precipitation on soil nitrogen in a dry tropical forest area in the Western Llanos of Venezuela. *The Scientific World Journal*, 2014, 1-11.
- Jansson, J. K., Hofmockel, K. S., 2020. Soil microbiomes and climate change. *Nature Reviews Microbiology*, 18, 35-46.
- Krishna, M. P., Mohan, M., 2017. Litter decomposition in forest ecosystems: a review. *Energy, Ecology and Environment*, 2, 236-249.
- Kroeger, M. E., Meredith, L. K., Meyer, K. M., Webster, K. D., Camargo, P. B., Souza, L. F., Tsai, S. M., Van Haren, J., Saleska, S., Bohannan, B. J. M., Rodrigues, J. L. M., Berenguer, E., Barlow, J., Nusslein, K., 2021. Rainforest-to-pasture conversion stimulates soil methanogenesis across the Brazilian Amazon. *The ISME Journal*, 15, 658-672.
- Lehmann, J., Bossio, D. A., Kogel-Knabner, I., Rillig, M. C., 2020. The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1, 544-553.
- Leizeaga, A., Hicks, L. C., Manoharan, L., Hawkes, C. V., Rousk, J., 2021. Drought legacy affects microbial community trait distributions related to moisture along a savannah grassland precipitation gradient. *Journal of Ecology*, 109 (9), 3195-3210.
- Lepcha, N. T., Devi, N. B., 2020. Effect of land use, season, and soil depth on soil microbial biomass

- carbono of Eastern Himalayas. *Ecological Processes*, 9 (65), 1-14.
- Lima, A. B., Cannavan, F. S., Germano, M. G., Dini-Andreote, F., De Paula, A. M., Franchini, J. C., Teixeira, W. G., Tsai, S. M., 2015. Effects of vegetation and seasonality on bacterial communities in Amazonian dark Earth and adjacent soils. *African Journal of Microbiology Research*, 9 (40), 2119-2134.
- Longo, R. M., Espíndola, C. R., 2000. Alterações em características químicas de solos da Região Amazônica pela introdução de pastagens. *Acta Amazonica*, 30, 71-80.
- Malik, A. A., Martiny, J. B. H., Brodie, E. L., Martiny, A. C., Treseder, K. K., Allison, S. D., 2020. Defining trait-based microbial strategies with consequences for soil carbon cycling under climate change. *The ISME Journal*, 14, 1-9.
- Marengo, J. A., Cunha, A. P., Cuartas, L. A., Leal, K. R. D., Broedel, E., Seluchi, M. E., Michelin, C. M., Baião, C. F. P., Ângulo, E. C., Almeida, E. K., Kazmierczak, M. L., Mateus, N. P. A., Silva, R. C., Bender, F., 2021. Extreme drought in the Brazilian Pantanal in 2019-2020: characterization, causes, and impacts. *Frontiers in Water*, 3, 1-20.
- Melz, E. M., Tiago, P. V., 2009. Propriedade físico-químicas e microbiológicas do solo de um Parque em Tangará de Serra, MT, uma área de transição entre Amazônia e Cerrado. *Acta Amazonica*, 39 (4), 829-834.
- Meyer, K. M., Morris, A. H., Webster, K., Klein, A. M., Kroeger, M. E., Meredith, L. K., Braendholt, A., Nakamura, F., Venturini, A., Souza, L. F., Shek, K. L., Danielson, R., Van Haren, J., Camargo, P. B., Tsai, S. M., Dini-Andreote, F., Mauro, J. M. S., Barlow, J., Berenguer, E., Nusslein, K., Saleska, S., Rodrigues, J. L. M., Bohannan, B. J. M., 2020. Belowground changes to community structure alter methane-cycling dynamics in Amazonia. *Environment International*, 145, 1-11.
- Moreira, F., Siqueira, J. O., 2002. *Microbiologia e Bioquímica do Solo*. UFLA: Larvas, 623 p.
- Moscovich, F. A., 2004. *Modelos de crecimiento y producción forestal*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estacion Experimental Agropecuaria Monte Carlo (EEA). Informe tecnico n. 55, 42p.
- Moura, Q. L., Ruivo, M. L. P., Rodrigues, H. J. B., Rocha, E. J. P., Silva Junior, J. A., Vasconcelos, S. S., Andrade, M. C., Manes, C. O., 2015. Variação sazonal da população de bactérias e fungos e dos teores de nitrato e amônio do solo nos sítios do LBA e PPBIO, na Amazônia oriental. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 30 (3), 265-274.
- Nottingham, A., Fierer, N., Turner, B. L., Whitaker, J., Ostle, N. J., McNamara, N. P., Bardgett, R. D., Leff, J. W., Salinas, N., Silman, M. R., Kruuk, L. E. B., Meir, P., 2018. Microbes follow Humboldt: temperature drives plant and soil microbial diversity patterns from the Amazon to the Andes. *Ecology*, 99 (11), 2455-2466.
- O'Connell, C. S., Ruan, L., Silver, W. L., 2018. Drought drives rapid shifts in tropical rainforest soil biogeochemistry and greenhouse gas emissions. *Nature Communications*, 9 (1348), 1-9.
- Oertel, C., Matschullat, J., Zurba, K., Zimmermann, F., Erasmí, S., 2016. Greenhouse gas emissions from soils – a review. *Geochemistry*, 76 (3), 327-352.
- Oh, S., Fong, J. J., Park, M. S., Lim, Y. W., 2016. Distinctive feature of microbial communities and bacterial functional profiles in *Tricholoma matsutake* dominant soil. *PLoS One*, 11 (12), 1-18.
- Omomowo, I. O., Salami, A. O., Olabiyi, T. I., 2017. Preliminary study on climate seasonal and spatial variations on the abundance and diversity of fungi species in natural plantation ecosystems of Ile-ife, South West, Nigeria. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 11 (1), 33-44.
- Pajares, S., Mohannan, B. J. M., 2016. Ecology of nitrogen fixing, nitrifying, and denitrifying microorganisms in tropical forest soils. *Frontiers in Microbiology*, 7 (1045), 1-20.
- Pao, N. T., Upadhaya, 2019. Seasonal dynamics of soil microbial biomass in fragmented patches of subtropical humid forest of Jaintia hills in Meghalaya, Northeast India. *Forest System*, 28 (1), 1-14.
- Preciado, C. C., Boxall, J., Soria-Carrasco, V., Martínez, S., Douterelo, I., 2021. Implications of

- climate change: how does increased water temperature influence biofilm and water quality of chlorinated drinking water distribution systems? *Frontiers in Microbiology*, 12, 658927, 1-15.
- Rebello, S., Nathan, V. K., Sindhu, R., Binod, P., Awasthi, M. K., Pandey, A., 2021. Bioengineered microbes for soil health restoration: present status and future. *Bioengineered*, 12 (2), 12839-12835.
- Rocha, S. M. B., Antunes, J. E. L., Araujo, F. F., Mendes, L. W., Sousa, R. S., Araujo, A. S. F., 2019. Soil microbial C: N: P ratio across physiognomies of Brazilian Cerrado soil microbial biomass across a gradient of preserved native Cerrado. *Anais de Academia Brasileira de Ciências*, 91 (4), 1-9.
- Rodrigues, H., Silva, R., Ruivo, M., Sá, L., Costa, A., 2011. Variabilidade quantitativa de populações microbiana observada em solo de floresta tropical úmida, associada às condições microclimáticas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 26 (4), 629 - 638.
- Schimel, J. P., 2018. Life in dry soils: effects of drought on soil microbial communities and processes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 49, 409-432.
- Sharma, B., Singh, B. N., Dwivedi, P., Rajawat, M. V. S., 2022. Interference of climate change on plant-microbe interaction: presente and future prospects. *Frontiers in Agronomy*, 3, 1-20.
- Shen, J., Wyness, A. J., Claire, M. W., Zerkle, A. L., 2021. Spatial variability of microbial communities and salt distributions across a latitudinal aridity gradient in the Atacama desert. *Microbial Ecology*, 82, 442-458.
- Siebielec, S., Siebielec, G., Klimkowicz-Pawlas, A., Galazka, A., Grzadziel, J., Stuczynski, T., 2020. Impact of water stress on microbial community and activity in sandy and loamy soils. *Agronomy*, 10, 1-17.
- Speer, M. S., Leslie, L. M., MacNamara, S., Hartigan, J., 2021. From the 1990's climate change has decreased cool season catchment precipitation reducing river Heights in Australia's Southern Murray-Darling basin. *Scientific Reports*, 11, 16136, 1-16.
- Sun, S., Li, S., Avera, B. N., Strahm, B. D., Badgley, B. D., 2017. Soil bacterial and fungal communities show distinct recovery patterns during forest ecosystem restoration. *Applied and Environmental Microbiology*, 83 (14), 1-14.
- Tabari, H., 2020. Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific Reports*, 10 (13768), 1-10.
- Tomar, U., Baishya, R., 2020. Seasonality and moisture regime control soil respiration, enzyme activities, and soil microbial biomass carbono in a semi-arid forest of Delhi, India. *Ecological Processes*, 9 (50), 1-13.
- Tortora, G. J., Funke, B. R., Case, C. L., 2005. *Microbiologia Ambiental*. Cap. 27 – Parte V. E. Pearson, 8 ed.
- Treseder, K. K., Berlemont, R., Allison, S. D., Martiny, A. C., 2018. Drought increases the frequencies of fungal functional genes related to carbono and nitrogen acquisition. *PLoS ONE*, 13 (11), 1-17.
- Vargas, L. K., Scholles, D., 2000. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24, 35-42.
- Villani, F. T., Ribeiro, G. A. A., Villani, E. M. A., Teixeira, W. G., Moreira, F. M. S., Miller, R., Alfaia, S. S., 2017. Microbial carbono, mineral-N and soil nutrientes in indigenous agroforestry system and Other land use in the Upper Solimões region, Western Amazonas State, Brazil. *Agricultural Sciences*, 8 (7), 657-674.
- Zhang, Y., Xie, Y., Ma, H., Zhang, J., Jing, L., Wang, Y., Li, J., 2022. Responses of soil microorganisms to simulated climate change in desert grassland in northern China. *Journal of Water and Climate Change*, 13 (4), 1842-1854.
- Zhao, H., Zheng, W., Zhang, S., Gao, W., Fan, Y., 2021. Soil microbial community variation with time and soil depth in Eurasian steppe (Inner Mongolia, China). *Annals of Microbiology*, 71 (21), 1-12.
- Wang, Y., Xu, X., Liu, T., Wang, H., Yang, Y., Chen, X., Zhu, S., 2020. Analysis of bacterial and fungal communities in continuous-cropping ramie

- (*Boehmeria nivea* L. Gaud) Fields in diferente areas in China. Scientific Reports, 10 (3264), 1-9.
- Woo, C., Yamamoto, N., 2020. Falling bacterial communities from the atmosphere. Environmental Microbiome, 15 (22), 1-14.
- Wu, K., Xu, W., Yang, W., 2020. Effects of precipitation changes on soil bacterial community composition and diversity in the Junggar desert of Xinjiang, China. Peer J, 8, 1-23.