



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

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



Variabilidade Temporal do Efluxo de CO₂ em Áreas de Floresta Secundária e Campo Natural na Região Sudoeste da Amazônia

Mikelle Silva de Oliveira¹, Jorge Almeida de Menezes², Juliana dos Santos Patrício³, José Cézar Frozzi⁴, José Martins Gomes⁵

¹ Me. em Ciências Ambientais, Técnica de Laboratório III, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Amazonas. mikelle@ufam.edu.br (autor correspondente). Av. General Rodrigo Octavio Jordão Ramos, 1200 - Coroado I, Manaus - AM, 69067-005 ² Dr. em Física Ambiental, Professor Titular, Colegiado de Biologia e Química, Universidade Federal do Amazonas. Rua 29 de Agosto, 786, Campus Vale do Rio Madeira, CEP 69800-000, Humaitá-AM, Brasil ³ Aluna de Graduação Biologia e Química, Universidade Federal do Amazonas. Rua 29 de Agosto, 786, Campus Vale do Rio Madeira, CEP 69800-000, Humaitá-AM, Brasil ⁴ Me. em Ciências Ambientais, Técnico de Laboratório IV, Colegiado de Agronomia, Universidade Federal do Amazonas. Rua 29 de Agosto, 786, Campus Vale do Rio Madeira, CEP 69800-000, Humaitá-AM, Brasil ⁵ Técnico de Laboratório IV, Colegiado Biologia e Química, Universidade Federal do Amazonas. Rua 29 de Agosto, 786, Campus Vale do Rio Madeira, CEP 69800-000, Humaitá-AM, Brasil

Artigo recebido em 30/09/2022 e aceito em 24/04/2023

RESUMO

O Bioma Amazônico vem sofrendo com a supressão de sua cobertura vegetal, alterando dessa forma o fluxo de carbono na interface solo-atmosfera. O desequilíbrio desse fluxo de carbono por sua vez altera as propriedades físicas e químicas do solo. Para verificar o impacto que esse processo gera em determinada área, foi monitorado atividade microbiana durante um ano de estudo por meio da variabilidade do efluxo de CO₂ entre a interface solo-atmosfera. Para tal, utilizou-se a metodologia de Grisi desenvolvida em 1978 em que se utiliza uma solução alcalina de KOH para capturar CO₂ produzido no solo por meio da atividade microbiana e radicular no solo. Buscou-se analisar as variáveis físicas e variáveis relacionadas a quantidade de carbono no solo juntamente com a textura do solo em cada área, desse modo verificando as mudanças dessas variáveis de forma sazonal. A área de campo natural registrou as maiores temperaturas, menores umidade, menores quantidades de carbono e menor efluxo de CO₂ no solo reflexo da supressão de sua cobertura vegetal. A área de floresta secundária que possui solos menos exposto a radiação solar registrou menores temperaturas, maiores umidades, maiores quantidades de carbono e maior efluxo de CO₂ no solo. A presente pesquisa sugere a preservação de áreas de florestas, pois é uma área rica em biodiversidade e que auxilia na ciclagem de carbono, visto que a quantidade de carbono no solo dessa área não se difere estatisticamente quando analisados sazonalmente, além de manter do conforto térmico em seu entorno.

Palavras-chave: efluxo de CO₂, estoque de carbono, variáveis sazonais.

Temporal Variability of CO₂ Efflux in Areas of Secondary Forest and Natural Grassland in the Southwest Region of the Amazon

ABSTRACT

The Amazon Biome has been perishing due to the influence of its vegetation cover, thus altering the carbon flux in the soil-atmosphere interface. The unbalance of this carbon flux in turn alters the physical and chemical properties of the soil. To verify the impact that this process generates in a certain area, microbial activity was monitored during a year of study through the variability of the CO₂ efflux between the soil-atmosphere interface. For such task, the Grisi methodology developed in 1978 was used, in which an alkaline KOH solution is used to capture CO₂ produced in the soil through microbial and root activity in the soil. We sought to analyze the physical variables and variables related to the amount of carbon in the soil together with the soil texture in each area, thus verifying the changes in these seasonally variables. The natural grassland area recorded the highest temperatures, lowest humidity, lowest carbon heights and lowest CO₂ efflux in the soil, reflecting the influence of its vegetation cover. The area of secondary forest that has soils less exposed to solar radiation, registered lower temperatures, higher humidity, higher volumes of carbon and higher efflux of CO₂ in the soil. The present research suggests the preservation of forest areas, since it is an area rich in biodiversity and that helps in carbon cycling, since the amount of carbon in the soil of this area did not differ statistically when analyzed seasonally, in addition to maintaining the comfort heat in its surroundings.

Keywords: CO₂ efflux, carbon stock, seasonal variables

Introdução

O bioma Amazônico possui uma grande capacidade em relação a sua biodiversidade, tornando-se um campo atrativo de pesquisa devido sua extensão floresta e dinâmica ecossistêmica (Frozzi et al., 2020).

A região Amazônica apresenta variedade de paisagens e solos (Campos et al., 2012), dentre essas paisagens estão as áreas de campos naturais (ACN) e florestas secundárias (AFS).

As florestas secundárias são importantes, pois, armazenam grande quantidade de carbono e biodiversidade em seu solo, além de capturar dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera (Matos et al. 2019), as florestas tropicais contribuem para efluxo de dióxido de carbono (ECO_2) para atmosfera por meio da respiração do solo, também denominada atividade microbiana do solo (Arroyo et al., 2020; Chen et al., 2023). Os solos das áreas de florestas são ricos em serapilheira que estão dispostos de modo heterogêneo, as serapilheiras são resultados da decomposição de restos de folhas e galhos (Vilanova et al., 2019), fornecendo nutrientes para os solos. As florestas possuem um papel importante durante o processo do ciclo do carbono (Reis et al., 2021, Wallwork et al, 2022).

As áreas de campos naturais incluem paisagens com formações campestres abertas, formando uma espécie de mosaico com árvores em seu entorno de modo alternado (Silva et al., 2022), segundo Mantovanelli et al. (2016) na região Sul do Amazonas a ocorrência desses campos naturais é uma característica marcante do município de Humaitá, formando os complexos campos e matas abertas os “Campos Naturais de Humaitá-Puciri” (Pavão et al., 2015).

O processo ECO_2 ou respiração do solo (Oliveira et al., 2017) resulta da atividade de respiração de seres vivos autotróficos tais como as plantas e seres heterotróficos como alguns microrganismos presente no solo, os fatores bióticos e abióticos controlam esse processo no solo (Silva et al., 2016). A respiração heterotrófica que ocorre no solo é mais sensível as mudanças da umidade em relação a respiração autotrófica (Rey et al., 2021).

O ECO_2 consiste na produção de CO_2 no solo pela respiração das raízes e dos microrganismos e de seu transporte para a atmosfera (Mantovanelli et al., 2016; Oliveira et al., 2017). O processo de ECO_2 provém de pelo menos três fontes metabólicas no solo sendo, respiração microbiana, respiração de raízes e respiração de organismos (Souto et al., 2009), provém também de fontes não metabólicas como

por exemplo, a oxidação química dos minerais presente no solo (Araújo et al., 2013). Trata-se de uma processo complexo, pois, é controlado por processos fisiológicos, fenológicos e ambientais que sofrem variações no tempo-espaço (Rodríguez et al., 2023).

Algumas variáveis relacionadas ao solo podem influenciar esse processo como, a quantidade de água no solo que atua como um dos principais controladores sazonais no processo de ECO_2 do solo em floresta, essas áreas por possuírem grandes copas e uma maior quantidade de biomassa existe a tendência de diminuição da temperatura e aumento de umidade no solo o que pode aumentar o ECO_2 (Silva et al., 2016). Em relação a umidade do solo Lira-Guedes et al. (2021) afirmam que existe uma umidade ótima que favorece o escape das moléculas de gás CO_2 do solo em direção a atmosfera, em contrapartida quando o solo ultrapassa o limite da umidade ótima, a água forma uma camada protetora que impede esse escape.

A temperatura e a umidade do solo são as principais variáveis físicas que controlam a variabilidade do ECO_2 do solo para a atmosfera (Lira-Guedes et al., 2021, Gomes^b et al, 2021), além de controlar a taxa fotossintética das plantas e a decomposição da matéria orgânica do solo por meio dos microrganismos (Rousk e Brangarí, 2022). Porém a presente pesquisa busca verificar quais variáveis relacionadas ao solo podem influenciar o processo de ECO_2 do solo para atmosfera ao longo do tempo, visto ser um processo complexo e sistemático, tendo desse modo uma compreensão limitada desses fatores (Rey et al., 2021).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar e quantificar o processo de ECO_2 na interface solo-atmosfera, verificando a influência das variáveis físicas (temperatura do solo, umidade do solo, porosidade do solo, densidade do solo), variáveis relacionadas a quantidade de carbono no solo (matéria orgânica do solo e carbono orgânico do solo) e análises granulométrica (areia, silte, argila) em áreas de floresta secundária (AFS) e áreas de campo natural (ACN) na região Amazônica ao longo de um ano (outubro/2021 a setembro/2022) nos períodos diurno e noturno, bem como, a evolução sazonal do ECO_2 , verificando desse modo qual área gera o maior impacto ambiental em torno da região.

A partir do conhecimento gerado buscar alternativas para mitigar o processo de ECO_2 de modo indiscriminado para o ecossistema e

promover sua captura da atmosfera, e por consequência seu estoque no solo, visto que o CO₂ é um dos gases responsável pelo efeito estufa na

atmosfera. Bem como, a importância do Bioma Amazônico na regulação climática local e global (Reis et al., 2021).

Material e métodos

Descrição da área experimental

Os estudos acerca do ECO₂ foram realizados na Fazenda Experimental Mangabeira, pertencente à Universidade Federal do Amazonas (UFAM-IEAA), localizada no perímetro rural no município de Humaitá, Amazonas, Brasil (-7.52620 S, -63.05590W) com área territorial total de 33.111,143 km² (IBGE, 2021), a região pertencente ao bioma Amazônico (IBGE, 2019) e está localizada a 696,4 km distante da capital do Estado do Amazonas, Manaus (Figura 1).

Segundo a classificação de Köppen o município de Humaitá possui um clima do tipo Am (tropical úmido), possui temperatura média anual em torno de 25°C, pluviosidade entre 2050 a 2650 mm por ano e umidade relativa do ar entre 85 a 90% (BRASIL, 1978).

No município de Humaitá-Amazonas podemos verificar uma divisão sazonal ao longo do ano em período chuvoso-transição-seco-transição, onde há um período chuvoso entre novembro e abril, com pluviosidade em torno de 400mm/mês, um período de transição em maio, um período seco entre junho e setembro com pluviosidade de 100mm/mês e em outubro outro período de transição (Pavão et al., 2015).

Segundo Campos et al. (2012) e Enck et al. (2020) que realizaram estudos na mesma área corrobora que a classificação do solo nessa região

do município de Humaitá é de Cambissolo Háplico Alítico.

Duas áreas foram escolhidas para analisar a variação sazonal do ECO₂, a área de floresta secundária (AFS) e a área de campo natural (ACN) durante um ano na região.

A AFS analisada é caracterizada pela derrubada de árvores e de suas vegetações pela ação antrópica e está em processo de recuperação de sua vegetação (Enck et al., 2020; Santos et al., 2022). A ACN é caracterizada por uma vegetação mais esparsa com alternância de árvores em seu entorno.

Em cada área foram selecionados 10 pontos de coleta ao acaso, onde a profundidade do solo analisado foi de 0 a 10 cm e a frequência das análises foi mensal durante o período diurno e noturno por 12 meses, totalizando desse modo 480 análises do ECO₂ e temperatura superficial, 240 análises de umidade e em uma única campanha de coleta durante o período chuvoso foi realizado a análise textura do solo, durante a estação chuvosa e seca foi realizado a análise da quantidade de carbono orgânico, matéria orgânica, densidade e porosidade do solo nos respectivos 10 pontos de cada área, todas as análises foram feitas em duplicata, durante o período outubro/2021 a setembro/2022 totalizando 12 meses de coleta de dados

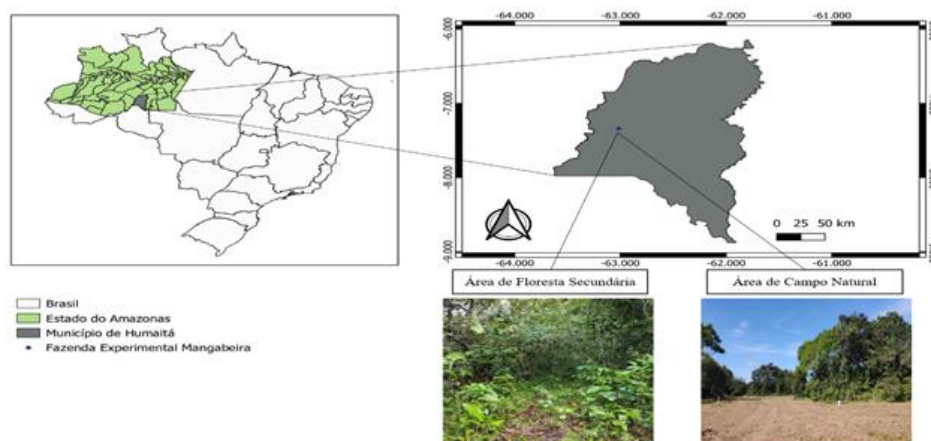


Figura 1. Mapa de Localização da área experimental

Quantificação do efluxo de CO₂ no solo

O ECO₂ do solo foi quantificado utilizando-se a metodologia de Grisi (1978), que consiste na absorção de CO₂ liberado por uma área do solo por uma solução de KOH (0,5N) e pela dosagem por titulação com HCl (0,1N) é possível determinar a quantidade de CO₂ (μmol.m⁻².s⁻¹) liberada durante a atividade microbiana e radicular do solo (Araújo et al., 2021, Gomes^b et al., 2021), foi utilizado como indicador a fenolftaleína e o alaranjado de metila 1%.

Para efetuar a medição foram distribuídos 10 recipientes em cada área e em cada turno, totalizando 40 recipientes por mês, cada um com 10,00 mL de KOH (0,5N), cada recipiente foi coberto por um balde de plástico de 22 L de

capacidade (Figura 2). Após a duração de cada experimento diurno com 10 horas (das 8 às 18h) de duração e do período noturno com 14 horas (das 18 às 8h) de duração os baldes plásticos foram retirados e os recipientes tampados logo após e acondicionados, onde foram levados para ao laboratório para serem titulados.

A metodologia desenvolvida por Grisi em 1978 é simples e de baixo custo, apresenta uma maior sensibilidade acima do solo (Souto et al., 2009) em relação a outras metodologias usadas para quantificar a emissão de CO₂, pois, considera as condições naturais da área em estudo (Araújo et al., 2011).

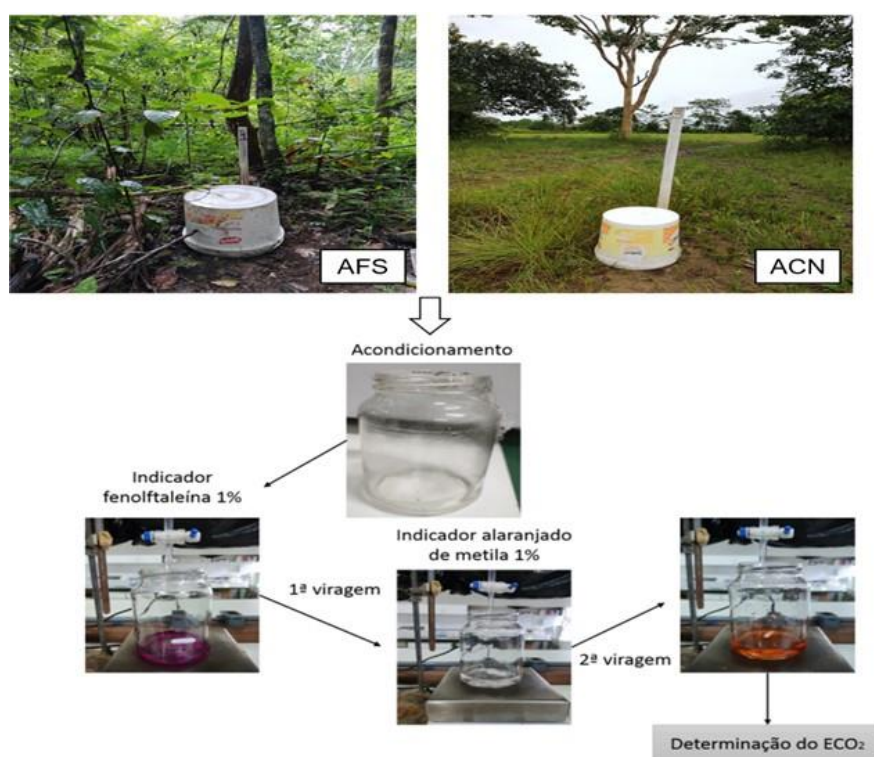


Figura 2. Fluxograma da metodologia de Grisi

Análises dos Parâmetros Físicos

Para a medição da densidade e porosidade do solo foi realizado uma campanha de coleta do solo durante a estação chuvosa e outra durante a estação seca em cada área e nos 10 pontos de cada área.

A densidade (Ds) do solo foi determinada pelo método do cilindro volumétrico, com a coleta das amostras de solo em estruturas indeformadas (EMBRAPA, 2017). Foi coletado a amostra de solo a partir de um cilindro metálico de volume conhecido, vedado e acondicionado a amostra e

levado ao laboratório para determinação, a amostra posta na estufa a 105°C por 48 horas, posteriormente a amostra resfriou no dessecador e pesada para sua determinação (EMBRAPA, 2017).

A porosidade total (Ps) do solo foi determinada pela saturação do solo por água, onde a água ocupa todo volume dos poros dos solos analisados (EMBRAPA, 2017). Foi colocado na parte inferior do cilindro contendo solo tecido preso com uma liga de borracha, onde foram previamente pesados, formando o conjunto amostra-cilindro-tecido-liga, este foi transferido

para uma bandeja de plástico com sua altura sendo superior à altura do cilindro, a bandeja de plástico foi adicionada água desaerada até uma coluna de 1cm do cilindro volumétrico (EMBRAPA, 2017). Foi aguardado a ascensão capilar da água até o topo da amostra, quando esta foi atingida completou a bandeja de plástico com água próxima a borda do cilindro, a amostra ficou nessa condição até aproximadamente 12 horas, após este tempo decorrido a amostra foi imediatamente pesada, o pano e a liga foram retiradas e a amostra colocada dentro de uma lata de alumínio e levado para estufa a 105°C até atingir

A umidade atual (Us) do solo foi determinada pelo método gravimétrico (EMBRAPA, 2017), onde as amostras foram coletadas a 5 cm de profundidade nos respectivos 10 pontos de coleta nas duas áreas de estudo mensalmente, as coletas para leitura das umidades foram feitas às 8 horas. Foi coletada a amostra de solo deformada in situ e posta na lata de alumínio,

Análises da matéria orgânica

Para a medição do carbono orgânico e matéria orgânica do solo foi realizado uma campanha de coleta do solo durante a estação chuvosa e outra durante a estação seca em cada área e nos 10 pontos.

O Carbono orgânico (CO) do solo foi determinado pelo método de oxidação via úmida pela oxidação com o dicromato de potássio (EMBRAPA, 2017). Foi coletada a amostra de torrão de solo in situ em cada área, onde foi posta para secar com circulação de ar de forma natural por aproximadamente 15 dias, em seguida o solo foi peneirado em uma peneira de 80 mesh (EMBRAPA, 2017). Após o solo peneirado, foi pesado aproximadamente 0,5000 g de solo seco em balança analítica e posto em um erlenmeyer de capacidade de 250mL, adicionou-se 10,0 mL de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) 0,0667 mol L⁻¹, na tampa do erlenmeyer foi posto vidro de relógio

Tratamento dos dados

A análise estatística dos dados gerados da presente pesquisa contemplou uma abordagem descritiva (média, desvio padrão, mediana e intervalo interquartil) e inferencial com auxílio de alguns testes, como o teste de normalidade de Shapiro-Wilk com o objetivo de verificar a normalidade dos dados, onde pode-se observar que parte dos dados possuem uma distribuição normal ($p \geq 0,05$) e a outra parte não possuem uma distribuição normal ($p < 0,05$), dessa forma aplicou-se o teste não-paramétrico de Kruskal Wallis,

peso constante, posteriormente a amostra foi esfriada no dessecador e pesada para sua determinação (EMBRAPA, 2017).

A temperatura (Ts) do solo foi analisada superficialmente onde se utilizou o termômetro digital tipo espeto que realiza leituras da faixa de - 50°C a 300°C. A medida de temperatura foi realizada mensalmente nos 10 pontos de cada área de estudo no início dos experimentos, às 8 horas e às 18 horas do mesmo dia. As leituras feitas às 8 horas foram classificadas como noturnas e as leituras no mesmo dia às 18 horas foram classificadas como diurnas.

foi tampada e acondicionada e levada ao laboratório para determinação. A amostra úmida foi pesada e posta em estufa a 105°C por 24 horas até seu peso se tornar constante, passado o tempo necessário a amostra foi posta em dessecador para resfriamento, onde a amostra seca foi pesada e a sua determinação foi realizada (EMBRAPA, 2017).

e colocado em chapa aquecedora a 150 °C durante 5 minutos até a cor da solução se tornar amarelo-castanha (EMBRAPA, 2017). Após a solução ter sido resfriada foi adicionado 80 mL de água destilada, 2 mL de ácido ortofosfórico (H_3PO_4) e 3 gotas de indicador difenilamina [$(C_6H_5)_2NH$] 1%, onde foi titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,05 mol L⁻¹ onde ocorreu a mudança de cor para verde, o volume gasto foi anotado e a determinação de carbono orgânico foi realizada (EMBRAPA, 2017).

A matéria orgânica do solo (MOS) foi estimada a partir da quantidade de carbono orgânico multiplicada por 1,724 (EMBRAPA, 2011).

Análises granulométricas

Foi realizada a determinação da areia, silte e argila logo após a dispersão da amostra com hidróxido de sódio 1,0 mol L⁻¹ e agitação por 16h a 50 rpm de rotação (EMBRAPA, 2017).

utilizado para comparar três ou mais amostras independentes, com um nível de significância de 5% e o teste paramétrico de Tukey para as amostras que apresentaram uma distribuição normal de seus dados com nível de significância de 5%, esses testes foram os que melhor se adequaram aos dados da pesquisa.

Os dados da presente pesquisa foram submetidos a teste de Kruskal Wallis e o teste de Tukey em função dos dois principais períodos sazonais da região Amazônica, período chuvoso e seco.

Para o teste de Kruskal Wallis rejeitou-se a hipótese nula ($p < 0,05$), sendo necessário aplicar o teste de comparações múltiplas de Dunn.

Utilizou-se o coeficiente de correlação de postos de Spearman (ρ) para o conjunto de dados que não apresentaram uma distribuição normal de

seus dados, sendo uma medida de correlação não-paramétrica que avalia entre o intervalo de -1 e +1, onde aplicou-se o nível de significância de 5%.

Todos os testes foram realizados por meio do software estatístico Python e Past 4.03.

Resultados e discussão

As estatísticas descritivas dos dados para os parâmetros dos solos analisados mensalmente durante o período diurno e noturno, durante um ano (T_s , U_s , ECO_2) são apresentadas na Tabela 1, é visível a variabilidade nas duas áreas de estudo o que influencia o processo de ECO_2 no solo (Araújo et al., 2021).

Após as análises de comparação de Kruskal-Wallis observou-se que nem todas as variáveis analisadas em função da estação chuvosa

e seca durante o período diurno e noturno apresentaram diferença estatística (Tabela 1), essa diferença estatística foi verificada através do valor de p de cada variável, uma vez que foram menores que o valor significativo estabelecido de 5%, rejeitando desse modo a hipótese nula, o teste de post-hoc de Dunn utilizado para comparações múltiplas, mostrou que existe diferença estatística entre as variáveis. Durante o período noturno nem todas as variáveis quando comparadas durante o período chuvoso e seco apresentaram diferença estatística entre si.

Tabela 1. Estatística descritiva da temperatura superficial ($^{\circ}C$), umidade do solo (%) e efluxo de CO_2 ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$) durante o período diurno e noturno, para o período chuvoso e seco em área de floresta secundária e campo natural na região de Humaitá, AM, Brasil.

Período Diurno				
Variável	Estação	Média ± DP	Mediana ± AI	Valor de p
T _s AFS	Chuvosa	25,79 ± 0,61	25,80 ± 0,90	1,4x10 ^{-6**}
	Seca	26,60 ± 0,63	26,45 ± 0,97	
T _s ACN	Chuvosa	29,65 ± 1,78	29,50 ± 1,93	1,09x10 ^{-9**}
	Seca	32,43 ± 2,20	32,15 ± 2,30	
U _s AFS	Chuvosa	29,00 ± 3,18	29,58 ± 3,86	3,08x10 ^{-17**}
	Seca	14,13 ± 3,29	14,96 ± 5,41	
U _s ACN	Chuvosa	18,24 ± 2,92	18,44 ± 4,29	3,92x10 ^{-17**}
	Seca	5,97 ± 3,37	5,59 ± 6,51	
ECO ₂ AFS	Chuvosa	0,61 ± 0,15	0,61 ± 0,10	1,76x10 ^{-13**}
	Seca	0,36 ± 0,04	0,36 ± 0,06	
ECO ₂ ACN	Chuvosa	0,62 ± 0,09	0,61 ± 0,10	9,91x10 ^{-17**}
	Seca	0,34 ± 0,05	0,34 ± 0,04	
Período Noturno				
Variável	Estação	Média ± DP	Mediana ± AI	Valor de p
T _s AFS	Chuvosa	25,19 ± 0,71	25,40 ± 1,40	0,38
	Seca	25,32 ± 0,52	25,50 ± 0,93	
T _s ACN	Chuvosa	28,91 ± 2,06	29,40 ± 3,13	1,44x10 ^{-2**}
	Seca	30,45 ± 2,53	29,90 ± 3,80	
ECO ₂ AFS	Chuvosa	1,42 ± 0,36	1,38 ± 0,70	2,76x10 ^{-2**}
	Seca	1,25 ± 0,18	1,22 ± 0,29	
ECO ₂ ACN	Chuvosa	1,14 ± 0,24	1,12 ± 0,36	0,41
	Seca	1,09 ± 0,17	1,09 ± 0,19	

T_s = temperatura superficial; U_s = umidade do solo; ECO_2 = efluxo de dióxido de carbono; DP= desvio padrão; AI= amplitude interquartil; Valores medianos diferem estatisticamente pelo teste post-hoc de Dunn; (** $p < 0,05$).



Figura 3. Comparação do efluxo de CO₂ durante os períodos diurno e noturno e durante as estações chuvosa, seca e transição nas AFS e ACN na região de Humaitá, AM, Brasil; A – ECO₂ da AFS; B – ECO₂ da AFS diurno, C – ECO₂ da AFS noturno; D – ECO₂ da ACN; E – ECO₂ da ACN diurno; F – ECO₂ da ACN noturno.

Segundo Silva et al. (2019) e Gomes^b et al. (2021) a temperatura do solo influencia o processo de ECO₂, mas a umidade do solo é determinante, pois, vem ser o fator limitante da atividade microbiana no solo, desse modo, a AFS foi a que obteve maior umidade do solo e a menor temperatura sendo que foi a área que mais emitiu CO₂ na interface solo-atmosfera, em contrapartida a ACN obteve a menor umidade do solo quando comparadas e a maior temperatura, emitindo menos CO₂ para a atmosfera, tanto durante a estação chuvosa e seca. Tanto o solo da AFS quanto ACN perdeu água para a atmosfera durante a estação seca o que refletiu na menor quantidade de água, menor umidade e menor atividade microbiana no solo. Segundo Mantovanelli et al. (2020) trabalhando na mesma região encontrou valores de umidade próxima da encontrada na presente pesquisa sendo 30% para a área de floresta nativa e 17% em área de campo natural durante o período chuvoso na região.

A umidade do solo na AFS é maior em relação a ACN (Figura 04), esse resultado é esperado visto que a AFS possui um solo rico em serapilheira e copas que protegem seus solos da incidência direta das radiações solares, fazendo como que o solo perca uma menor quantidade de água para a atmosfera tendo um solo mais úmido (Gomes^a et al., 2021). Ao longo do ano a umidade do solo na AFS se mostrou superior em relação a ACN, porém a AFS sofreu perda da quantidade de água em seu solo, conforme observar-se na Figura 4.B que houve uma queda significativa da umidade do solo nessa área entre a estação chuvosa e seca. Na ACN houve perda do quantitativo de água drasticamente entre as diferentes estações do ano, tendo valor mediano na estação seca de 5,59% (Figura 4.C), esse resultado é esperado, pois, trata-se de uma área como solos expostos a intensa radiação solar.

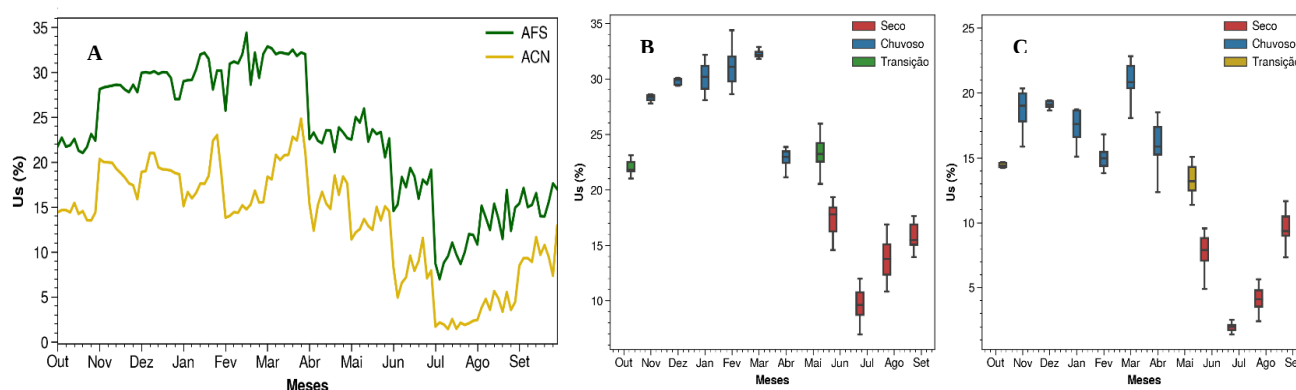


Figura 4. Comparação da umidade do solo durante o período diurno e durante as estações chuvosa e seca na região de Humaitá, AM, Brasil; A – umidade do solo AFS e ACN; B – AFS diurno; C –

Em relação a temperatura do solo na AFS chega a ser em torno de 2,3°C menor que a temperatura do solo na ACN durante o período diurno na estação chuvosa e cerca de 6,5°C de diferença entre a AFS e ACN durante a estação seca (Figura 05), visto que a ACN possui seu solo mais exposto aos intemperismos (Araújo et al., 2016) e de baixa cobertura vegetal em relação a AFS que reflete em temperaturas mais elevadas devido a incidência direta de raios solares (Gomes^a et al., 2021, Gomes^b et al., 2021), essa diferença de temperatura durante a estação seca entre as duas áreas traz um desconforto térmico para a comunidade daquela região próxima a ACN no município de Humaitá-AM. Durante o período noturno as variações de temperatura entre as duas áreas de estudo foram baixas e possuíam pouca

variabilidade durante as diferentes estações do ano, principalmente na AFS em que a T_s se mostraram estatisticamente iguais pelo teste de comparação de Dunn.

Em relação a temperatura superficial pode-se observar que são em geral menores durante o período noturno em relação ao período diurno tanto na AFS quanto na ACN, durante a estação chuvosa ocorre os menores valores de temperatura superficial, durante o período diurno na AFS (Figura 5.B) e ACN (Figura 5.E) pode-se notar diferença entre a estação seca e chuvosa. Para o período noturno a AFS (Figura 5.C) mostrou-se valores medianos próximos e pelo teste de Dunn são estatisticamente iguais, para a ACN (Figura 5.F) quando comparados nas estações chuvosa e

seca se diferenciaram estatisticamente pelo teste de Dunn.

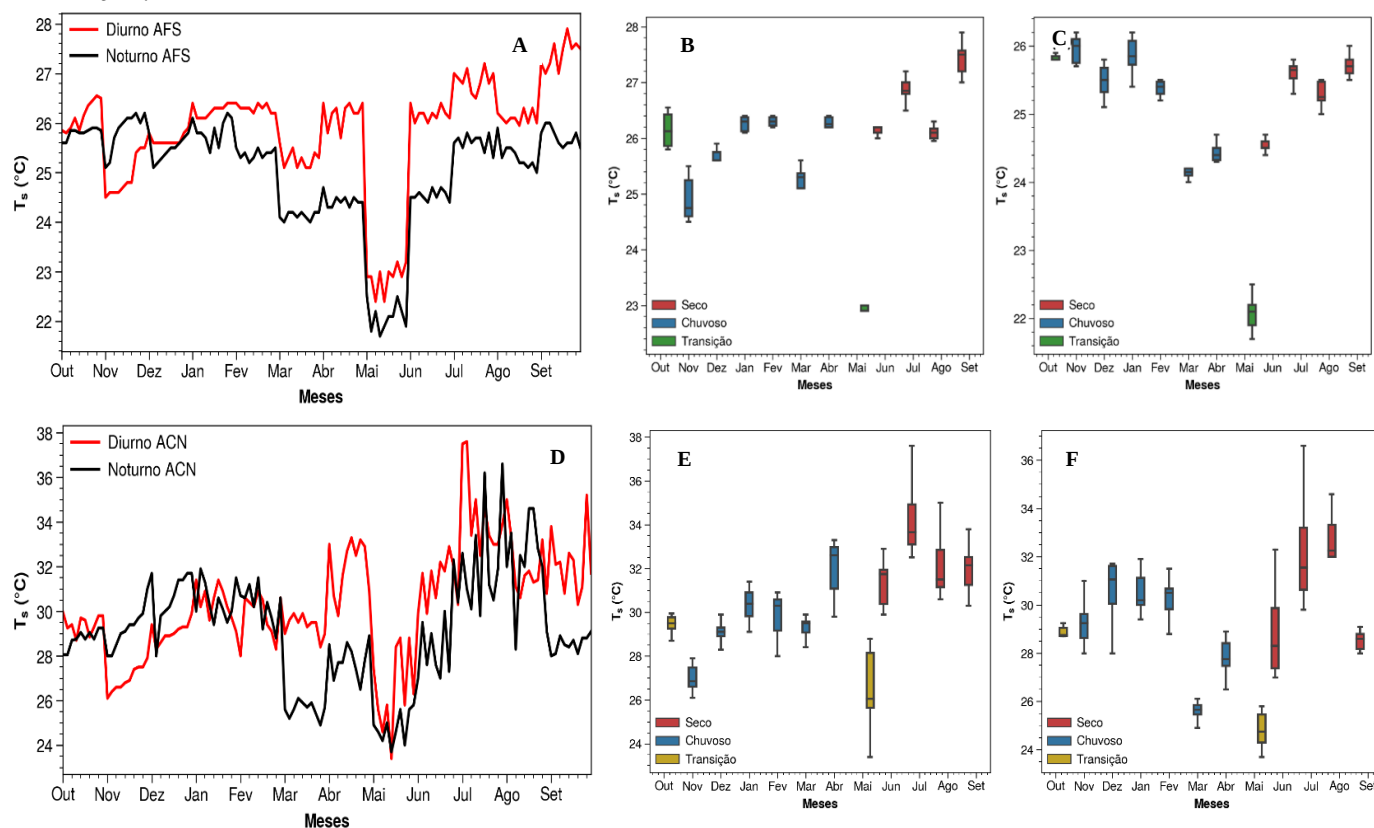


Figura 5. Comparação da temperatura superficial durante os períodos diurno e noturno e durante as estações chuvosa e seca nas AFS e ACN na região de Humaitá, AM, Brasil; A – T_s da AFS; B - T_s da AFS diurno; C - T_s da AFS noturno; D - T_s da ACN; E - T_s da ACN diurno; F - T_s da ACN noturno.

A alta taxa de ECO_2 na AFS durante o período chuvoso provavelmente se deve a acelerada decomposição dos resíduos orgânicos presente no solo (Chen et al., 2023) visto que o solo analisado é extremamente rico em serapilheira, fonte de nutriente para o solo (Holanda et al., 2015), isso propicia a atividade microbiana no solo, durante a estação chuvosa ocorre um maior incremento de carbono no solo (Gomes^a et al.,

As áreas florestais apresentam uma alta densidade de serapilheira disposta de forma heterogênea em seus solos (Lira-Guedes et al., 2021) o que influencia a flutuação do efluxo de CO_2 no solo (Araújo et al., 2021), segundo Mantovanelli et al. (2020) trabalhando em mata nativa na região de Humaitá-AM encontrou a média de $20,46 \text{ g kg}^{-1}$ de carbono orgânico, no presente estudo foi encontrado a média de $18,58 \text{ g kg}^{-1}$ de carbono orgânico para a AFS, dificilmente a alta emissão de CO_2 nessa área foi ocasionada por distúrbios de causa antrópica, o que ocorre na AFS é a intensa atividade microbiana do solo evidenciado pelo alto ECO_2 nessa área (Araújo et

2021), durante o período seco ocorreu uma leve queda na quantidade de carbono orgânico e matéria orgânica no solo, porém não se diferenciaram estatisticamente durante os dois períodos pelo teste de Tukey (Tabela 2) para a AFS. Em relação a ACN a queda foi mais acentuada entre as estações chuvosa e seca, onde o carbono orgânico e a matéria orgânica se diferenciaram estatisticamente entre as duas estações do ano.

al., 2021), diferentemente da ACN que sofre influência antrópica de modo direto e intenso, tendo o seu solo compactado e sua cobertura vegetal sendo retirado constantemente por meio de trator fazendo com que seu solo seja mais denso ($1,23 \text{ kg m}^{-3}$) e menos poroso ($0,51 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) durante o período chuvoso, durante o período seco o solo da ACN fica ainda mais denso ($1,31 \text{ kg m}^{-3}$) e menos poroso ($0,44 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) o que provavelmente dificulta a difusão do CO_2 do solo para a atmosfera devido a compressão do solo, (Soares et al., 2021) corrobora que a conversão inadequado do solo pode levar ao aumento da densidade do solo e por consequência diminuição da porosidade do solo

(Frozzi et al., 2020). A baixa densidade do solo pode estar relacionada as altas concentrações de carbono orgânico no solo e a intensa atividade microbiana (Frozzi et al., 2020), corroborando com o resultado encontrado na AFS que possui baixa densidade em seu solo.

Na ACN a elevada quantidade de silte ($662,77 \text{ g kg}^{-1}$) pode gerar o adensamento do solo, promovendo desse modo o melhor agrupamento das partículas do solo e consequentemente tendo um solo mais exposto a ações de desintegração de sua estrutura (Mantovanelli et al., 2015), já na AFS a concentração de silte é menor ($537,83 \text{ g kg}^{-1}$) fazendo como que as partículas de seu solo sejam mais dispersas, refletindo nos parâmetros físicos do solo e influenciando o ECO_2 no solo.

Após análise foi possível verificar que nem todas as variáveis analisadas se diferenciaram estatisticamente pelo teste de Tukey, o carbono orgânico e a matéria orgânica do solo na AFS não se diferenciaram estatisticamente durante a estação chuvosa e seca, reflexo da manutenção e preservação vegetativa da área (Rey et al., 2021). Porém, na ACN ocorreu diferença estatística na quantidade de carbono orgânico e matéria orgânica no solo, segundo Rey et al. (2021) constataram que áreas que sofrem degradação e retirada da cobertura vegetal tendem a perder carbono em seu solo, corroborando com os resultados encontrados para ACN.

Tabela 2. Estatística descritiva da densidade do solo (kg m^{-3}), porosidade do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$), quantidade de carbono do solo (g kg^{-1}), matéria orgânica (g kg^{-1}) e textura do solo (g kg^{-1}) para o período chuvoso e seco em área de floresta secundária e campo natural na região de Humaitá, AM, Brasil.

Análise Sazonal						
Variável	Estação	Média $\pm$ DP	Mínimo	Máximo	CV	Valor de p
D _s AFS	Chuvosa	$0,89 \pm 0,06$	0,78	0,98	7,08	$1,05 \times 10^{-4**}$
	Seca	$1,09 \pm 0,06$	0,89	1,22	10,62	
D _s ACN	Chuvosa	$1,23 \pm 0,07$	1,07	1,32	5,89	$1,41 \times 10^{-2**}$
	Seca	$1,31 \pm 0,06$	1,21	1,31	4,32	
P _s AFS	Chuvosa	$0,59 \pm 0,04$	0,54	0,66	7,38	$1,45 \times 10^{-8**}$
	Seca	$0,44 \pm 0,02$	0,41	0,47	4,74	
P _s ACN	Chuvosa	$0,51 \pm 0,02$	0,47	0,54	4,40	$1,4 \times 10^{-12**}$
	Seca	$0,33 \pm 0,02$	0,28	0,36	7,04	
CO AFS	Chuvosa	$18,65 \pm 3,22$	14,56	22,81	18,65	0,91
	Seca	$18,51 \pm 2,62$	14,54	21,80	14,17	
CO ACN	Chuvosa	$14,68 \pm 3,05$	7,41	14,83	21,19	$9,2 \times 10^{-3**}$
	Seca	$11,12 \pm 2,36$	11,14	21,86	20,77	
MOS AFS	Chuvosa	$32,15 \pm 5,55$	25,10	39,33	17,28	0,91
	Seca	$31,91 \pm 4,52$	25,07	37,58	14,16	
MOS ACN	Chuvosa	$25,41 \pm 5,27$	12,77	25,57	21,19	$8,31 \times 10^{-3**}$
	Seca	$19,18 \pm 4,06$	19,21	37,68	20,72	
Textura do Solo AFS	Areia	$236,34 \pm 49,60$	155,27	329,79	20,96	-
	Silte	$537,83 \pm 73,48$	384,37	622,62	13,66	-
	Argila	$225,56 \pm 32,00$	196,46	285,84	14,19	-
Textura do Solo ACN	Areia	$210,78 \pm 20,80$	185,87	244,94	9,86	-
	Silte	$662,77 \pm 66,55$	514,22	759,87	10,04	-
	Argila	$126,44 \pm 56,89$	54,26	253,31	44,99	-

D_s= densidade do solo; P_s= porosidade do solo; CO= carbono orgânico; MO= matéria orgânica; DP= desvio padrão; CV= coeficiente de variação; Valores medianos diferem estatisticamente pelo teste de Tukey; (**p<0,05).

A AFS por sua vez, possui um solo rico em matéria orgânica ($32,15 \text{ g kg}^{-1}$) o que lhe confere maior fertilidade em seu solo (Frozzi et al., 2020) e temperaturas amenas em relação a ACN, visto que as copas das árvores impedem a incidência direta da radiação solar sob o solo (Araújo et al., 2016), diminuindo a perda de água e tendo o solo bastante úmido (Gomes^a et al, 2021), isto se deve a presença da serapilheira que auxilia na retenção de umidade e melhora os atributos físicos do solo (Holanda et al., 2015), a AFS apresenta densidade do solo baixa (Soares et al., 2021) e porosidade do solo alta nos dois períodos avaliados com mudança em seus valores de um período para o outro, essas condições são propícias para uma alta atividade microbiana no solo por meio da decomposição da serapilheira que fornece nutrientes necessários ao solo (Holanda et al., 2015) e retornam ao sistema florestal por meio da reabsorção realizada pelas raízes (Holanda et al., 2015). Mantovanelli et al. (2020) encontrou para áreas de mata nativa em média $35,27 \text{ g kg}^{-1}$ para matéria orgânica do solo, desse modo os resultados se mostram próximos.

Apesar da AFS emitir mais CO_2 para a atmosfera resultado da intensa atividade microbiana no solo, esta área forma uma área foliar que propicia o maior sequestro de carbono visto que as folhas das plantas realizam atividades fotossintéticas capturando CO_2 e liberando O_2 para atmosfera (Gomes^a et al, 2021), isso se reflete na quantidade de carbono que é superior na AFS quando comparada a ACN, nesta área ocorre o contrário por ter uma menor cobertura vegetal e áreas arbóreas (Gomes^a et al., 2021), na ACN ocorre uma menor emissão de CO_2 do solo para a atmosfera, parte desta emissão não consegue ser capturada pelas folhas das plantas e se propaga na atmosfera contribuindo para o efeito estufa na região. Segundo Araújo et al. (2021) áreas que possuem maiores teores de matéria orgânica tendem a ter maiores atividades microbianas no solo, emitindo mais CO_2 na interface solo-atmosfera, corroborando com os resultados

encontrados para AFS. Lennox et al. (2018) corrobora a importância das florestas secundárias principalmente nos primeiros 20 anos de processo regenerativo de áreas degradadas, onde a recuperação de 1,2% de biomassa ao ano consegue sequestrar $2,25 \text{ Mg ha}^{-1}$ de carbono ao ano da atmosfera.

Na ACN encontramos valores médios menores de matéria orgânica do solo em relação a AFS durante a estação chuvosa ($25,41 \text{ g kg}^{-1}$) e seca ($19,18 \text{ g kg}^{-1}$), durante a estação seca ocorreu na ACN perda significativa no carbono orgânico, isso é esperado visto que a supressão de cobertura vegetal nessa área condicionada a altas temperaturas geram uma redução da matéria orgânica no solo (Gomes^a et al., 2021).

Após a aplicação do coeficiente de correlação de postos de Spearman (ρ) nas duas áreas de estudo (AFS e ACN), durante dois períodos (diurno e noturno) e nas diferentes estações (chuvosa e seca) do ano, observou-se que, na AFS durante o período diurno/chuvosa (Figura 6.A) ocorreu correlação positiva significativa entre ECO_2 e T_s , para a AFS durante o período noturno/chuvosa (Figura 6.B) o ECO_2 possuiu correlação significativa positiva com a T_s , $T_{5\text{cm}}$ e $T_{10\text{cm}}$. Durante o período diurno/seca na AFS (Figura 6.C) e o período noturno/seca para a AFS (Figura 6.D) não ocorreu correlação significativa entre as variáveis.

Observou-se que após a aplicação da correlação de Spearman, na ACN durante o período diurno/chuvosa (Figura 7.A) ocorreu correlação significativa positiva entre ECO_2 e T_s , $T_{5\text{cm}}$ e $T_{10\text{cm}}$, para a ACN durante o período noturno/chuvosa (Figura 7.B) o ECO_2 não possuiu correlação significativa com as variáveis. Durante o período diurno/seca na AFS (Figura 7.C) não ocorreu correlação significativa entre o as variáveis analisadas, durante o período noturno/seca (Figura 7.D) não ocorreu correlação significativa entre as variáveis analisadas

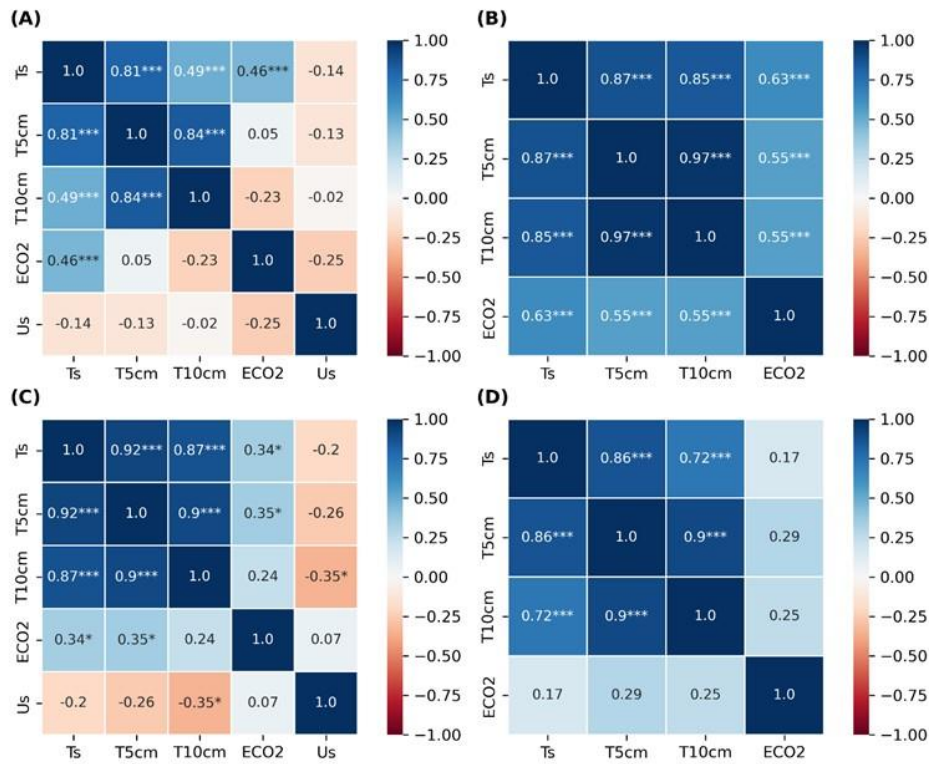


Figura 6. Correlação de Spearman (ρ) entre as cinco variáveis durante o período diurno e noturno, durante a estação chuvoso e seca na região de Humaitá, AM, Brasil; A – AFS diurno/chuvoso; B – AFS noturno/chuvoso; C – AFS diurno/seco; D – AFS noturno/seco.

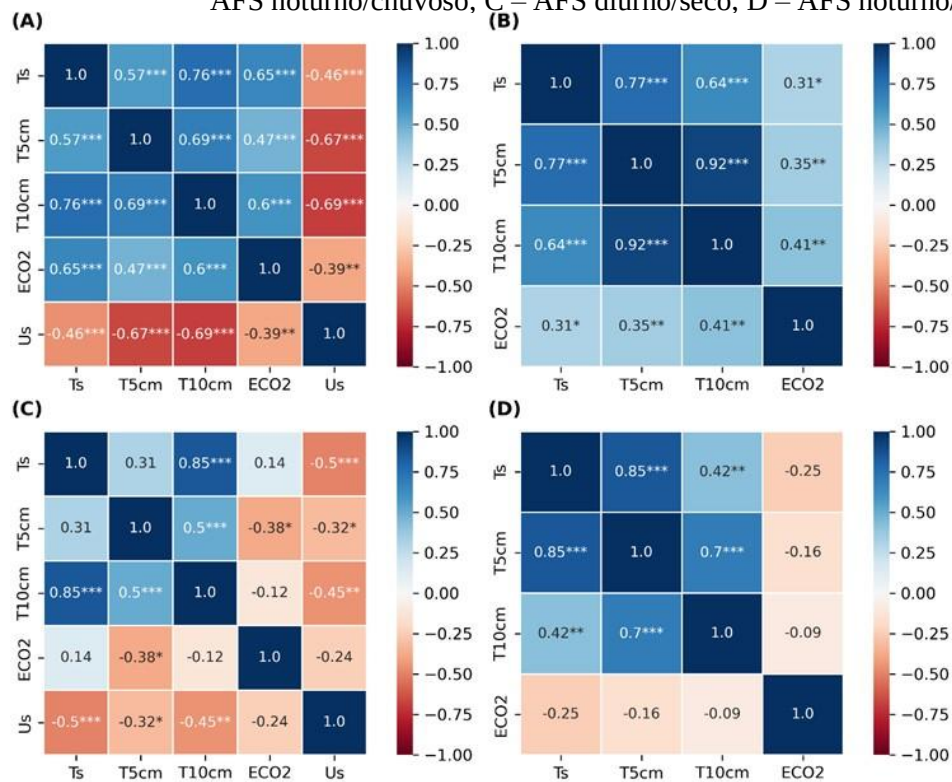


Figura 7. Correlação de Spearman (ρ) entre as cinco variáveis durante o período diurno e noturno, durante a estação chuvoso e seca na região de Humaitá, AM, Brasil; A – ACN diurno/chuvoso; B – ACN noturno/chuvoso; C – ACN diurno/seco; D – ACN noturno/seco.

Entre as variáveis que foram analisadas mensalmente ao longo de um ano e correlacionadas com o processo de ECO_2 não foi possível atribuir esse processo a somente uma dessas variáveis, esses resultados mostram-se coerentes visto que a metodologia empregada para quantificar o ECO_2 é extremamente sensível as mudanças ocorridas no solo não tendo portanto uma linearidade nesse processo, mas uma variabilidade de acordo com as mudanças sofridas no meio, recomenda-se para trabalhos futuros que o ECO_2 e as temperaturas do solo sejam quantificados de hora em hora por meio da metodologia de Grisi para verificar a evolução cinética do ECO_2 no solo, visto ser um processo complexo.

Segundo Mantovanelli et al. (2020) devido à grande variação topográfica da região

Conclusões

O maior ECO_2 no solo ao longo do ano ocorreu na AFS e a menor na ACN, tanto durante a estação chuvosa como durante a estação seca. Os

A AFS possuiu menores temperaturas, maiores umidades, menores densidades, maiores porosidades, maiores quantidades de carbono orgânico e matéria orgânica do solo ao longo do ano.

A ACN possui maiores temperaturas, menores umidades, maiores densidades, menores porosidades, menores quantidades de carbono orgânico e matéria orgânica do solo ao longo do ano.

A AFS emitiu mais CO_2 para a atmosfera devido a intensa atividade microbiana do solo pela decomposição da serapilheira presente em seu solo,

Amazônica, as áreas de campo nativo e floresta tropical em seus solos apresentam grande variabilidade nos seus atributos físicos e químicos, gerando consequentemente descontinuidade no ECO_2 no solo, sendo um processo complexo.

Tendo em vista que as ações antrópicas podem trazer alterações na cobertura vegetal do solo (Frozzi et al., 2020), reduzindo-a e, por consequência reduzindo o sequestro de carbono da atmosfera, como também o estoque de carbono no solo, os resultados dessa pesquisa sugere que sejam tomadas medidas que busquem a preservação de florestas secundárias bem como de áreas nativas e recuperação de áreas degradadas, de forma a colaborar na conservação do bioma Amazônico e mitigar a emissão de CO_2 para a atmosfera, reduzindo as consequências do efeito estufa para o meio ambiente e social.

maiores ECO_2 tanto na AFS e ACN ocorreram durante o período noturno e os menos durante o período diurno. Houve diminuição na taxa de ECO_2 da estação chuvosa para a estação seca, devido a compressão do solo tanto na AFS como na ACN. parte dessa emissão é captada pelas folhas das áreas arbóreas e retorna para o solo.

A ACN emitiu menos CO_2 para a atmosfera devido a intensa atividade antrópica, pela compactação e degradação do solo, reflexo da diminuição da quantidade de carbono orgânico e matéria orgânica entre a estação chuvosa e seca.

A presente pesquisa sugere a preservação de áreas de florestas, pois, é uma área rica em biodiversidade e que auxilia na ciclagem de carbono e manutenção do conforto térmico em seu entorno.

Referências

- Araújo, K. D., Dantas, R. T., Andrade, A. P., Parente, H. N., 2011. Cinética de Evolução de Dióxido de Carbono em Área de Caatinga em São João do Cariri-PB. Revista Árvore [online] 35. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000600016>
- Araújo, K. D., Dantas, R. T., Andrade, A. P., Parente, H. N., Souza, M. A., 2013. Liberação de CO_2 do Solo em Áreas de Caatinga sob Pastejo Caprino. Revista RAOEGA [online]. Disponível: LIBERAÇÃO DE CO_2 DO SOLO EM ÁREAS DE CAATINGA SOB PASTEJO CAPRINO | Araujo | RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise (ufpr.br)
- Araújo, K. D., Souza, M. A., Santos, G. R., Andrade, A. P.; Ferreira Neto, J. V., 2016. Atividade Microbiana no Solo em Diferentes Ambientes da Região Semiárida de Alagoas. **Geografia (Londrina)** [online] 25. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5433/2447-1747.2016v25n2p5>
- Araújo, M.B, Barbosa, A.S., Melo, T.S., Souza, V.C., Silva, J.H.C.S., 2021. Respiração edáfica em diferentes sistemas de uso e manejo do solo em um Brejo de Altitude no Agreste Paraibano. Revista Principia [online] 59. Disponível: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id5504>.
- Arroyo, O.G., Madeira, T.E., 2020. Large seasonal variation of soil respiration in a secondary tropical moist forest in Puerto Rico. Ecology

- and Evolution [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.1002/ece3.7021>.
- Brasil., 1978. Ministério das Minas e Energia. Projeto Radambrasil.
- Campos, M. C. C., Ribeiro, M. R., Júnior, V. S. S., Filho, M. R. R., Almeida, M. C., 2012. Topossequência de Solos na Transição Campos Naturais-Floresta na Região de Humaitá, Amazonas. *Acta Amazonica* [online] 42. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672012000300011>
- Chen, J., Ma, X., Lu, X., Xu, H., Chen, D., Li, Y., Zhou, Z., Li, Y., Ma, S., Yakov, K., 2023. Long-term phosphorus addition alleviates CO₂ and N₂O emissions via altering soil microbial functions in secondary rather primary tropical forests. *Environmental Pollution* [online] 323. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121295>.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária, 2017. Manual de métodos de análise de solo, Brasília, DF.
- Enck, B. F., Rodrigues, J. C. W., Hassane, A. L., Tembol, R. A., Campos, M. C. C., Santos, L. A. C., Brito, W. B.M., 2020. Impacto nos Atributos do Solo sob Conversão de Floresta para Área Cultivados na Região Sul do Amazonas, Brasil. *Geografia Ensino & Pesquisa* [online] 24. Disponível: <https://doi.org/10.5902/2236499443591>
- Frozzi, J.C., Cunha, J.M., Campos, M.C.C., Bergamin, A.C., Brito, W.B.M., Fraciscon, U., Silva, D.M.P., Lima, A.F.L., Brito Filho, E.G., 2020. Physical attributes and organic carbon in
- Lennox, G. D., Gardner, T. A., Thamson, J. R., Ferreira, J., Berenguer, E.; Lees, A. C., Nally, R. M. Aragão, L. E. O. C., Ferraz, S. F. B., Louzada, J., Moura, N. G., Oliveira, V. H. F. Solar, R. C.; Vaz-De Mello, F. Z., Viera, I. C. G., Barlow, J., 2018. Second rate or a second chance? Assessing biomass and biodiversity recovery in regenerating Amazonian forests. *Global Change Biology* [online] 24. Disponível: <https://doi.org/10.1111/gcb.14443>
- Lira-Guedes, A. C., Leal, G. AL., Fischer, G. R., Aguiar, L. J. G., Júnior, N. J. M., Baia, A. L. P., GUEDES, M. C., 2021. Carbon emissions in hydromorphic soils from an estuarine floodplain forest in the Amazon River. *Brazilian Journal of Environmental Sciences* [online] 56. Disponível: <https://doi.org/10.5327/Z21769478941>
- Mantovanelli, B. C., Alho, L. C., Campos, M. C. C., Cunha, J. M., Oliveira, I. A., 2020. Pedoindicators attributes in the variation of soils under natural and anthropogenic environments in the South Amazon region. *Environmental Earth Sciences* [online] 79. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s12665-020-08948-x>.
- Gomes^a, D. S.; Santos, S. K.; Silva, J. H. C. S.; Santos, T. M.; SILVA, E. V.; Barbosa, A. S., 2021. Revista Brasileira de Geografia Física [online] 14. CO₂flux e temperatura da superfície edáfica em áreas de caatinga. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p1898-1908>.
- Gomes^b, D.S., Barbosa, A.S., Santos, T.M., Santos, S.K., Silva, J.H.C.S., Aquino, I.S., 2021. Cinética de liberação de CO₂ e decomposição da fitomassa em sistemas de uso e manejo do solo. *Research, Society and Development* [online] 10. Disponível: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11413>.
- Grisi, B. M., 1978. Método químico de medição de respiração edáfica: alguns aspectos técnicos. *Ciência e Cultura* 30, p.82-88.
- Holanda, A. C., Feliciano, A. L. P., Marangon, L. C., Freire, F. J., Holanda, E. M., 2015. Decomposição da serapilheira foliar e respiração edáfica em um remanescente de caatinga na paraíba. *Revista Árvore* [online] 39. Disponível: <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000200004>
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021. **Conheça cidades e estados do Brasil**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>.
- CO₂ efflux in Indian black earth and non-anthropogenic soils. *Carbon Magagement* [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.1080/17583004.2020.1813479>.
- Mantovanelli, B. C., Campos, M. C. C.; Alho, L. C.; Silva, P. C. S., Silva, D. A. P., Cunha, J. M., Silva, D. M. P., Soares, M. D. R., 2016. Distribuição Espacial da Emissão de CO₂ e Atributos do Solo sob Campo Nativo na Região de Humaitá, Amazonas. *Revista Sociedade & Natureza* [online]. Disponível: <https://doi.org/10.1590/1982-451320160207>
- Mantovanelli, B. C., Silva, D. A. P.; Gomes, R. P.; Soares, M. D. R.; Santos, L. A. C., 2015. Avaliação dos atributos do solo sob diferentes usos na região de Humaitá, Amazonas. *Revista de Ciências Agrárias* [online] 58. Disponível: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.1822>
- Matos, F.A.R., Magnago, L.F.S., Miranda, C.A.C., Menezes, L.F.T., Gastauer, M., Safar, N.V.H.,

- Schaefer, E.G.R., Silva, M.P., 2019. Secondary forest fragments offer important carbon and biodiversity cobenefits. *Global Change Biology* [online] 26. Disponível: <https://doi.org/10.1111/gcb.14824>.
- Oliveira, W. J., Souza, E. R., Cunha, J. C., Silva, E. F. F., Veloso, V. L., 2017. Leaf gas exchange in cowpea and CO₂ efflux in soil irrigated with saline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [online] 21. Disponível: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n1p32-37>
- Pavão, V. M., Querino, C. A. S., Benedetti, C. A.; Pavão, L. L., Querino, J. K. A. S.; Machado, N. G.; Biudes, M.S., 2015. Temperatura e Albedo da Superfície por Imagens TM Landsat 5 em Diferentes Usos do Solo no Sudoeste da Amazônia Brasileira. *Revista Brasileira de Climatologia* [online]. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v16i0.40128>
- Reis, A.O., Costa, G.B., Lima, M.B., Heidemann, M.A., Silva, D.T.C., Macambira, A.C.S., Matias, L.V.S., Almada, N.B., 2021. Sazonalidade e Correlação entre Emissões de Gases Estufa e Variáveis Ambientais em Áreas Florestais Distintas na Amazônia [online] 11. Disponível: 10.37002/biobrasil.v11i4.177.
- Rey, A., Carrascal, L.M., Báez, C.G.G., Raiumundo, J., Oyonarte, C., Pegoraro, E., 2021. Impact of climate and land degradation on soil carbon fluxes in dry semiarid grasslands in SE Spain [online] 461. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11104-021-04842-y>
- Rodríguez, A., Durán, J., Yuste, J.C., Valladares, F., Rey, A., 2023. The effect of tree decline over soil water content largely controls soil respiration dynamics in a Mediterranean woodland. *Agricultural and Forest Meteorology* [online] 333. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109398>.
- Rousk, J., Brangarí, A.C., 2022. Do the respiration pulses induced by drying-rewetting matter for the soil-atmosphere carbono balance? *Gobal Change Biology* [online] 28. Disponível: <https://doi.org/10.1111/gcb.16163>
- Santos, L.B., Adami, M., Gomes, A.R., Barros, M.N.R., Araújo, L., Guimarães, T.L., Carneiro, F.S., 2022. Proposta metodológica para mapeamento das áreas de não floresta presentes no projeto de monitoramento de áreas
- Wallwork, A., Banin, L.F., Dent, M.H., Skiba, U., Sayer, E., 2022. Soil carbon storage is related to tree functional composition in naturally regenerating tropical forests. *Functional desflorestadas da Amazônia Legal Brasileira. Research, Society and Development* [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i4.25794>.
- Silva, C. M., Vasconcelos, S. S., Mourão Júnior, M., Bispo, C. J. C., Kato, O. R., Silva Júnior, A. C., Castellani, D. C., 2016. Temporal Variation of Soil CO₂ Efflux in Oil Palm-Based Agroforestry Systems in Eastern Amazon. *Acta Amazonica* [online] 46. Disponível: <https://doi.org/10.1590/1809-4392201500193>
- Silva, D. A. P., Campos, M. C. C., Mantovanelli, B. C., Santos, L. A. C., Soares, M. D. R., Cunha, J. M., 2019. Variabilidade espacial da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em área de pastagem na região Amazônica, Brasil. *Revista de Ciências Agroveterinárias* [online] 18. Disponível: <https://doi.org/10.5965/223811711812019119>
- Silva, G.A., Brito Filho, E.G., Cunha, J.M., Campos, M.C.C., Sales, M.C.G., Bello, O.C., Lima, A.F.L., Barbosa, J.M.S., Lima, J.M.G., 2022. Aspectos dos atributos físicos e químicos do solo em ambientes naturais e áreas com sistema agroflorestal no sul do Amazonas. *Scientiaa Plena* [online] 18. Disponível: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2022.070205>.
- Soares, M.D.R., Souza, Z.M., Campos, M.C.C., Silva, R.B., Esteban, D.A.A., Noronha, R.L., Gomes, M.G.S., Cunha, J.M., 2021. Land-use change and its impact on physical and mechanical properties of Archaeological Black Earth in the Amazon rainforest. *CATENA* [online] 202. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105266>.
- Souto, P. C., Bakke, I. A., Souto, J. S., Oliveira, V. M., 2009. Cinética da Respiração Edáfica em Dois Ambientes Distintos no Semi-Árido da Paraíba, Brasil. *Revista Caatinga* [online] 22. Disponível: [Vista do CINÉTICA DA RESPIRAÇÃO EDÁFICA EM DOIS AMBIENTES DISTINTOS NO SEMI-ÁRIDO DA PARAÍBA, BRASIL \(ufersa.edu.br\)](http://vista.do.cinética.da.respiração.edáfica.em.dois.ambientes.distintos.no.semi-árido.da.paraíba,brasil.ufersa.edu.br)
- Villanova, P. H., Torres, C. M. M. E., Jacovine, L. A. G., Soares, C. P. B., Silva, L. F., Schettini, B. L.S., Rocha, S. J. S. S., 2019. Carbon Stock Growth in a Secondary Atlantic Forest. **Revista Árvore** [online] 43. Disponível: <https://doi.org/10.1590/1806-90882019000400>
- Ecology* [online] 36. Disponível: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.14221>.