



Faculdade de Meteorologia



Universidade Federal do Pará



Instituto de Geociências

WENDY KAORI MATSUNAGA

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DE SOLO, RELACIONADOS ÀS ATIVIDADES
DA MICROFAUNA EM SOLO NA FLORESTA AMAZÔNICA**

Nº: 409

**Belém-PA
Fevereiro-2017**

WENDY KAORI MATSUNAGA

**Atributos microbiológicos de solo, relacionados às atividades da microfauna
em solo na Floresta Amazônica**

Trabalho de Conclusão do Curso, apresentado à
Faculdade de Meteorologia do Instituto de
Geociências da Universidade Federal do Pará- UFPA,
para obtenção do grau Bacharel em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr Hernani José Brazão Rodrigues.

Belém-PA
Fevereiro-2017

WENDY KAORI MATSUNAGA

**Atributos microbiológicos de solo, relacionados às atividades da microfauna
em solo de Floresta Tropical Primária em Caxiuanã na Amazônia Oriental no
ano de 2015**

Trabalho de Conclusão do Curso, apresentado à
Faculdade de Meteorologia do Instituto de
Geociências da Universidade Federal do Pará- UFPA,
para obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

Data de aprovação: ___/___/_____

Conceito: _____

Banca examinadora:

Prof.: Hernani José Brazão Rodrigues - Orientador
Doutor em Meteorologia Agrícola
Universidade Federal do Pará

Prof. Possidônio Guimarães Rodrigues
Mestre em Agronomia
Universidade Federal Rural do Pará

Prof.: João Athaydes da Silva Junior – Membro
Doutor em Meteorologia Agrícola
Universidade Federal do Pará

*Dedico este trabalho aos meus pais, Anita
e Akira Matsunaga, que sempre me
apoiaram em tudo, apesar da distância.*

AGRADECIMENTOS

Eu agradeço à Deus, porque Ele me deu forças em todos os momentos.

Aos meus pais, que me ensinaram a valorizar a educação e com todo o amor sempre incentivaram a me tornar uma pessoa melhor. Especialmente a minha mãe que sempre apoiou as minhas escolhas e que me ensinou a ser uma mulher de força e independente.

Aos meus tios, que me ajudaram financeiramente nos estudos e disponibilizaram o lugar onde morei por cinco anos.

A oportunidade de ter sido bolsista do meu orientador de TCC Hernani Rodrigues, pelo suporte, pelas correções e todo o incentivo.

E por fim, agradeço de coração ao meu namorado Ewerton por fazer de tudo para melhorar todos os meus dias e à todos os amigos que conheci aqui em Belém ao longo dos anos que sempre me deram apoio e foram como uma família para mim. Aos amigos que conheci na Universidade Federal do Pará e em especial o Alfredo Quaresma da Silva Neto que dividi os bons e maus momentos dentro e fora da universidade e que com todo carinho sempre foi presente com uma amizade sincera e verdadeira.

*“Não é sobre chegar no topo do mundo
E saber que venceu
É sobre escalar e sentir
Que o caminho te fortaleceu
É sobre ser abrigo
E também ter morada em outros corações
E assim ter amigos contigo
Em todas as situações.”*

Trem Bala – Ana Vilela

RESUMO

A Amazônia tem experimentado com maiores frequências anomalias fora dos padrões climatológicos devido às alterações no uso do solo, passando por períodos de demasiadas secas ou enchentes associadas às mudanças climáticas. O Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) desenvolveu o experimento ESECAFLO, para avaliar os efeitos da seca prolongada na dinâmica das florestas tropicais. Este estudo avalia as mudanças na biomassa, composição e atividade microbiana edáficas em diferentes níveis de profundidade, associado às variações de umidade e temperatura do solo, tornando interessante a investigação do efeito desses processos sobre as propriedades e funções do solo associados à disponibilidade de água no solo. As amostragens de solo para realização deste estudo foram feitas em 2015 em diferentes sazonalidades (período chuvoso, transição e seco) na floresta nacional de Caxiuanã. Foram utilizados como indicadores da atividade microbiológica do solo o carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, a respiração basal do solo e a relação C:N da biomassa microbiana. Os resultados encontrados mostram que em áreas com exclusão de água, a biomassa diminui significativamente, e parte da Respiração Basal tende a migrar para níveis inferiores do solo onde se observa melhor reserva de umidade. Os indicadores de atributos microbiológicos do solo utilizados apresentam significativa relação de dependência com as variações sazonais da temperatura e umidade do solo. Os resultados observados no potencial de mineralização de N e mudanças na composição microbiana sugerem que no período chuvoso há o predomínio da população bacteriana e no período de transição e seco prevalecem as populações fúngicas.

Palavras-chave: Floresta, Atividade Microbiana, Estresse Hídrico.

ABSTRACT

The Amazon has experienced more often non-standard weather patterns due to the change change in land use, through periods of flood and drought associated with climate change. The Large Scale Program of the Biosphere-Atmosphere in the Amazon (LBA) developed the ESECAFLOR experiment to calculate the effects of prolonged drought on the dynamics of tropical forests. This study evaluates how changes in soil biomass, composition and microbial activity in different levels of depth, associated to variations in soil moisture and temperature, making interesting the investigation of the effect of these processes on the properties and functions of the soil associated with the availability of water in the soil. The soil samples to perform this study were made in 2015 in different periods (rainy, transition and dry period) in the national forest of Caxiuanã. The microbiological activity of the carbon and nitrogen soil of the microbial biomass, soil basal respiration and a C: N ratio of the microbial biomass were used as indicators of the microbiological activity of the carbon and nitrogen soil. The results show that in areas with water exclusion, biomass decreases significantly, and part of the Basal Breath tends to migrate to lower soil levels where a better moisture reserve is observed. The microbiological soil attributes indicators can be used as a dependence relation with the seasonal variations of soil moisture. The observed results show that the potential of N mineralization and changes in microbiology suggest that in the rainy season there is a predominance of bacterial population and in the transition period and dry prevail the fungal populations.

Keywords: Forest, Microbial Activity, Water Stress.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01. Mapa de localização do Município de Melgaço e da Estação Científica Ferreira Penna	28
Figura 02. Distribuição de precipitação mensal no município de Melgaço-PA	29
Figura 03. Estrutura física do Experimento ESECAFLOR/LBA em Caxiuanã	30
Figura 04. Gráfico da variação da Respiração Basal do Solo nas parcelas A e B em relação à variação de umidade.....	35
Figura 05. Gráfico da variação do Respiração Basal do Solo nas parcelas A e B em relação à variação de temperatura.....	35
Figura 06. Gráfico da variação do Carbono da Biomassa Microbiana do Solo nas parcelas A e B em relação à variação de umidade	36
Figura 07. Gráfico da variação do Carbono da Biomassa Microbiana do Solo nas parcelas A e B em relação à variação de temperatura.....	37
Figura 08. Gráfico da variação do Nitrogênio da Biomassa Microbiana do Solo nas parcelas A e B em relação à variação de umidade	38
Figura 09. Gráfico da variação do Nitrogênio da Biomassa Microbiana do Solo nas parcelas A e B em relação à variação de temperatura.....	38
Figura 10. Gráfico da variação da razão Carbono/Nitrogênio nas parcelas A e B em relação à variação de umidade	39
Figura 11. Gráfico da variação da razão Carbono/Nitrogênio nas parcelas A e B em relação à variação de temperatura.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RBS – Respiração Basal do Solo

CBMS – Carbono da Biomassa Microbiana do solo

NBMS – Nitrogênio da Biomassa Microbiana do Solo

Cmic : Nmic (relação C/N da biomassa microbiana) – Potencial de mineralização de N e mudanças na composição microbiana

ECFPn – Estação Científica Ferreira Penna

ESECAFLOR – Experimento seca na floresta

g – Gramas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas

Kg – Quilograma

Km – Quilômetros

m – Metros

mg – Miligramas

mm – Milímetros

MPEG – Museu Paraense Emílio Goeldi

NBMS – Nitrogênio da Biomassa Microbiana

RBS – Respiração Basal do Solo

S – Sul

Ts – Temperatura do solo

UG – Umidade gravimétrica

W – Oeste

LISTA DE SÍMBOLOS

°C – Graus Celsius

% – Porcentagem

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	26
1.1	OBJETIVO GERAL	27
1.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	27
2.	MATERIAIS E MÉTODOS	27
2.1	ÁREA DE ESTUDO	27
2.2	CLIMATOLOGIA DA REGIÃO	28
2.3	ESTRUTURA FÍSICA	29
2.4	AMOSTRAGEM DE SOLO	30
2.5	ANÁLISES DE SOLO	31
2.5.1	Umidade do solo	31
2.5.2	Temperatura do solo	31
2.6	ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DO SOLO	31
2.6.1	Carbono e Nitrogênio da biomassa microbiana	33
2.6.2	Cálculo do C-Biomassa	33
2.6.3	Cálculo do N-Biomassa	33
2.6.4	Respiração Basal	33
2.6.5	Relação Carbono-Nitrogênio da massa microbiana	34
3.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
3.1	RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO	34
3.2	CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA	36
3.3	NITROGÊNIO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO	37
3.4	POTENCIAL DE MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO NO SOLO	38
4.	CONCLUSÃO	40
	REFERÊNCIAS	42

1. INTRODUÇÃO

Existe evidência convincente indicando que as mudanças climáticas ocorridas no século XX causaram vários impactos sobre a biodiversidade (HUGHES 2000). Segundo Barcellos et. Al. (1989), a Amazônia, particularmente, sobrepõe às oscilações climáticas a intensificação de queimadas e desflorestamento, causando uma diminuição da capacidade de retenção de água no solo.

O solo realiza funções fundamentais nos ecossistemas terrestres como a ciclagem de nutrientes (DORAN e PARKIN, 1994). Esse ciclo depende das populações microbianas que podem ser monitoradas através dos atributos microbiológicos indicadores da variabilidade de concentração de nutrientes e propriedades do solo, que por sua vez é o suporte para esses organismos vivos.

Segundo Stenberg (1999) a qualidade de um solo é a sua capacidade de absorver, armazenar e reciclar sustentavelmente os recursos como água e nutrientes minerais. Essa qualidade é dependente dos seus fatores de formação e das interferências humanas relacionadas ao uso e manejo do solo (GREGORICH et al., 1994). Pesquisas que envolvem experimentos de longa duração têm sido realizadas para avaliar os efeitos da seca na dinâmica das florestas tropicais no âmbito do Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) (RUIVO et al., 2002).

A compreensão da microclimatologia associada à biomassa microbiana do solo, é essencial para o entendimento de variações quantitativas nas populações de micro-organismos em escala sazonal e de grande importância para o estabelecimento de espécies e manutenção da microfauna de solo no ecossistema (RODRIGUES, 2011).

Em Caxiuanã, as interações entre o microclima e as populações microbianas do solo de floresta nativa sob condições naturais e submetida ao estresse hídrico foram investigadas por Rodrigues et al. (2013). Os autores destacaram um padrão diferenciado para a proporção entre fungos e bactérias de acordo com a disponibilidade de água no solo (MOURA et al., 2015).

Os indicadores químicos do solo retratam parâmetros que são responsáveis pelos processos naturais do funcionamento do solo, como a matéria orgânica, que influencia a liteira e a biomassa microbiana; o pH, que está relacionado a solubilização e disponibilidade de nutrientes; e o conteúdo de nutrientes, que tem relação com a

produção de biomassa (ARAGÃO et al., 2012). Os atributos microbiológicos como carbono da biomassa microbiana e os quocientes metabólico e microbiano permitem avaliar os impactos ambientais e a resiliência do solo (KASCHUK et al., 2010).

A maioria dos estudos anteriores tem focado os efeitos de secagem temporária ou variação sazonal da umidade do solo sobre a biomassa e atividade microbiana do solo (BALDRIAN et al., 2010). Deste modo, objetivou-se neste trabalho, avaliar a biomassa microbiana do solo, a respiração basal do solo e índices derivados em um experimento de simulação de seca prolongada (ESECAFLORE) na floresta amazônica sobre os atributos do solo para observar o comportamento dos micro-organismos em um ano com evento de El-Niño muito intenso.

1.1. OBJETIVO GERAL

Fazer um estudo de comportamento de biomassa microbiana do solo e respiração basal com fatores abióticos: temperatura e umidade gravimétrica do solo, em uma floresta tropical com uma parcela natural e outra sob condição de estresse hídrico, a fim de fazer análises de como se comportam nos diferentes períodos sazonais do ano.

1.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

Estudar o comportamento dos micro-organismos do solo associando as variações de temperatura e umidade do solo em diferentes períodos do ano (chuvoso, transição e seco) e avaliar como essas variáveis estão interligadas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. ÁREAS DE ESTUDO

O estudo foi realizado na Floresta Nacional de Caxiuanã, localizada no município de Melgaço, Mesorregião Marajó, Estado do Pará, distante aproximadamente 350 km da capital Belém. No local de estudo se encontra a Estação Científica “Ferreira Penna” (ECFPn) (Figura 01), ligada ao Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), que possui 33 mil hectares (1°42’S, 51°31’W) correspondentes a 10% do total da área da FLONA (RODRIGUES et al., 2011).

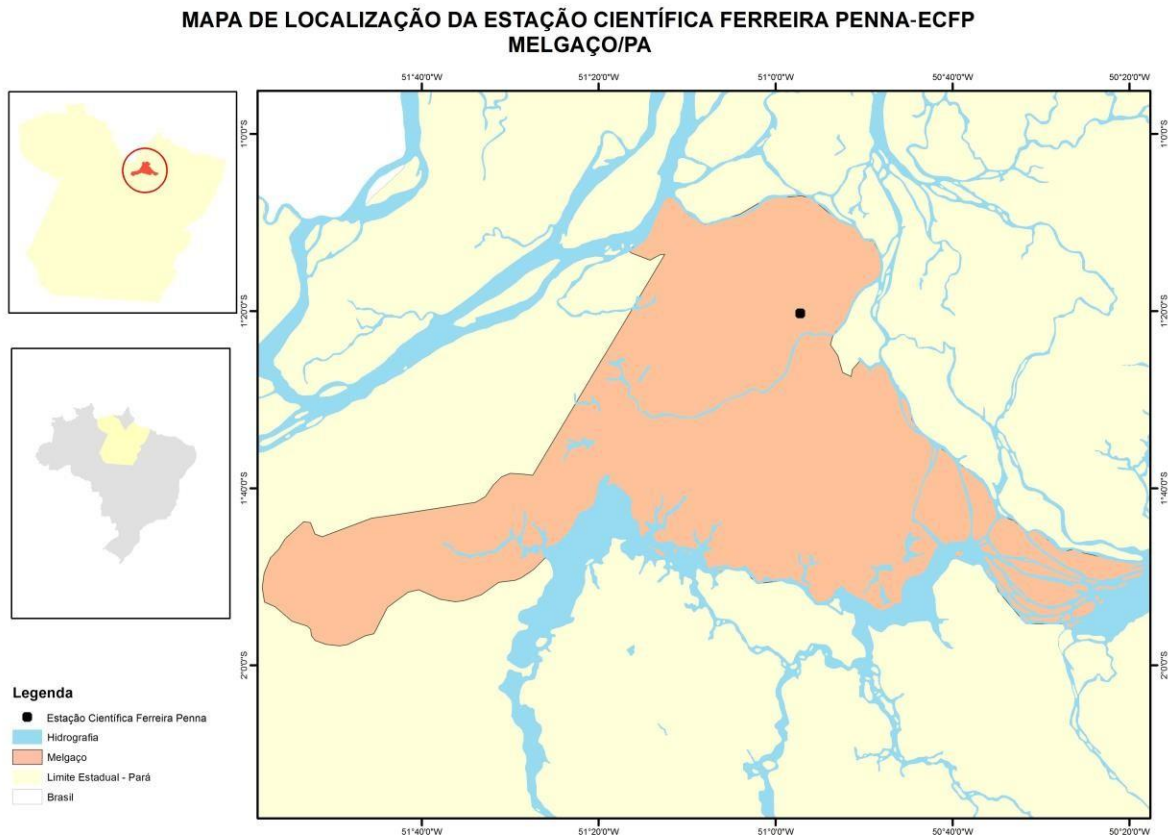


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, Caxiuanã, Pará.
Fonte: Do autor.

2.2. CLIMATOLOGIA DA REGIÃO

O clima da região é do tipo Am, conforme a classificação de Köppen, com uma temperatura média do ar anual de $25,7 \pm 0,8$ °C, e uma pluviosidade média anual entorno de 2.272 ± 193 mm (SILVA JUNIOR et al., 2013). A sazonalidade é bem

definida com dois períodos distintos, um correspondendo ao período seco (entre agosto e novembro) e outro ao período chuvoso (entre dezembro e maio) (Figura 02). O solo da área foi classificado como Latossolo Amarelo e textura franco-arenosa (RUIVO; CUNHA, 2003).

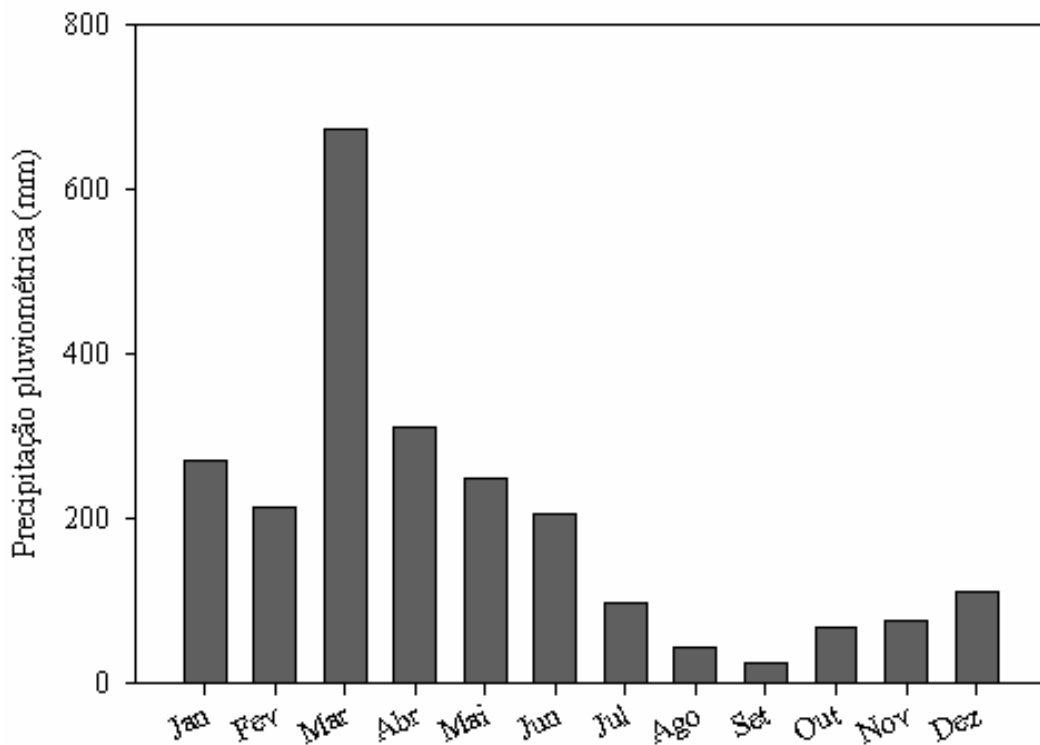


Figura 2. Gráfico da precipitação pluviométrica (mm) mensal na área de estudo
Fonte: Rodrigues, 2011.

2.3. ESTRUTURA FÍSICA

O presente estudo foi desenvolvido nas parcelas do experimento ESECAFLO (O Impacto da Seca Prolongada nos Fluxos de Água e Dióxido de Carbono em uma Floresta Tropical Amazônica), que teve início em janeiro de 2002. Em sua estrutura física o ESECAFLO é composto por duas parcelas (A e B) de 1 hectare cada.

A parcela “A” denomina-se o controle, ou seja, é a referência do ambiente em condições naturais para a simulação de seca que ocorre na parcela B, onde está sendo feita a exclusão de aproximadamente 50% da água da chuva com a utilização de painéis plásticos instalados a uma altura de 1 a 2 metros acima do solo (FISHER et al., 2007; MEIR et al., 2009).



Figura 3. Estrutura física do Experimento ESECAFLOR/LBA em Caxiuanã

Fonte: Costa et al., 2009.

2.4. AMOSTRAGEM DO SOLO

A amostragem do solo ocorreu em três períodos sazonais distintos no ano de 2015, sendo o primeiro no mês de março, caracterizando o período chuvoso, o segundo em julho, representativo do período de transição e a última coleta foi obtida em dezembro, representativo para o período seco. Foram realizadas coletas de solo em oito pontos em cada parcela (A e B), com uso de um trado holandês nas profundidades 0,0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m, para caracterização química e microbiológica do solo. As amostras para análises microbiológicas foram acondicionadas em caixas de isopor contendo bolsas térmicas, as quais foram conservadas à baixa temperatura até o momento das análises laboratoriais no laboratório de solos no Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG).

2.5. ANÁLISES DO SOLO

2.5.1. Umidade do solo

A umidade do solo utilizada neste estudo foi determinada por gravimetria, visto que problemas nos sensores instalados nas parcelas experimentais durante o período de coleta inviabilizaram o uso dessas informações.

Para cada amostra coletada em campo foi determinada a umidade pesando-se o material úmido, e o material seco em estufa após 24 h (~105°C), conforme a seguinte fórmula:

$$\Theta = (m_u - m_s) / m_s * 100$$

Onde m_u é a massa de solo úmido, m_s é a massa de solo seco.

2.5.2 Temperatura do solo

A temperatura do solo foi medida pelo sensor TERMOPAR, nas profundidades de 0,05m, 0,20m e 0,5m. A temperatura nas profundidades de 0,05m e 0,2m foram empregadas para analisar os dados de biomassa, Respiração Basal e relação C:N nas camadas 0-0,1m e 0,1-0,2m, respectivamente. E devido à ausência de dados em uma profundidade adequada para a camada 0,2-0,3m, foi utilizado a média entre a temperatura de 0,2m e 0,5m.

2.6. ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DO SOLO

2.6.1. Carbono e Nitrogênio da Biomassa microbiana

O carbono (CBM) e o nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) foram determinados pelo método irradiação-extração, utilizando o forno microondas modelo Panasonic com potência igual a 800 W e frequência de 2.450 MHz, conforme descrito por Islam; Weil (1998). O tempo de exposição para atingir 800 J.g⁻¹ (energia necessária para lise celular) durante a irradiação das amostras foi calculado pela seguinte fórmula:

$$t = r . m_t / P$$

Onde t é o tempo de exposição das amostras ao micro-ondas; P é a potência real do aparelho em W; r é igual a 800 J g⁻¹; e m_t : massa total das amostras no momento da irradiação.

O extrator utilizado foi o K₂SO₄ 0,5 mol L⁻¹ tanto para o carbono como para o nitrogênio da biomassa microbiana. O C contido nos extratos foi quantificado por meio de oxidação via úmida (Yeomans; Bremner, 1988) sem aquecimento externo. O fator de conversão (K_c) usado para converter o fluxo de C para CBM foi de 0,33 (Sparling; West, 1988). Os teores de CBM foram expressos com base na massa de solo seco em estufa a 105 °C, por 24 h.

2.6.2. Cálculo do C-Biomassa

Os valores do carbono presente na biomassa microbiana foram calculados a partir da equação:

$$C_i.ni = \frac{(V_b - V_{am}) \cdot (\text{Mol do FeSO}_4) (3) (1000) (V_{exr})}{(V_{ex}) \cdot (\text{peso do solo})}$$

V_b = volume do branco; V_{am} = volume da amostra; V_{exr} = volume do extrator; V_{ex} = volume do extrato, volume utilizado para a determinação do carbono (ml); 3 = resultado da relação entre o número de mols de Cr_2O_7 que reagem com o $\text{C}(3/2)$ multiplicado pelo C (12); 1000 = fator de conversão de unidade.

Então:

$$C_{mic} = \frac{(C_i - C_{ni})}{K_c}$$

C_i = amostra irradiada; C_{ni} = amostra não irradiada; $K_c = 0,33$, para o método de irradiação de CBMS.

O Nitrogênio contido nos extratos foi quantificado por meio de digestão sulfúrica, seguida de destilação Kjeldahl, conforme Tedesco et al. (1995). O fator de conversão (K_N) utilizado para converter o fluxo de N em NBM foi de 0,54 (Brookes et al., 1985). Os teores de NBM foram expressos com base na massa de solo seco em estufa a 105 °C por 24 h.

2.6.3. Cálculo do N-Biomassa

O teor de N presente na Biomassa microbiana é calculado pela equação descrita a seguir

$$Ni(\text{ mg/L}) = \frac{(V_{am} - V_{br}) \cdot (R_+) \cdot (14)}{V}$$

V_{am} = Vol. De HCl gasto na titulação da amostra; V_{br} = Vol. de HCl gasto na titulação do branco; R_+ = concentração real de ácido clorídrico; 14 = peso equivalente de nitrogênio; V = volume (L).

$$Ni \cdot ni = \frac{(\text{mg/kg}) = N(V_{exr}) \times 1000}{\text{Peso de amostra}}$$

1000 = fator de conversão de unidade.

Então:

$$N_{mic} = \frac{(N_i - N_{ni})}{K_n}$$

Todas as extrações com K_2SO_4 para determinação do CBM e NBM nas amostras de solo ocorreram até o quinto dia após as coletas em campo e os resultados foram expressos em $mg.kg\ solo^{-1} BMS$.

2.6.4. Respiração basal

A respiração basal (RB) do solo foi determinada pela captura do C-CO₂ liberado durante o processo de respiração microbiana por um período de dez dias de incubação na presença de NaOH (Jenkinson; Powlson, 1976). A quantificação ocorreu por meio da titulação do extrato pelo HCl na presença de BaCl₂. Os resultados da respiração basal do solo foram expressos em $mg\ C-CO_2.kg^{-1}\ solo.dia^{-1}$

2.6.5. Relação Carbono-Nitrogênio da massa microbiana

A relação C/N mic foi calculado pela razão entre o carbono da biomassa microbiana do solo e o nitrogênio da biomassa microbiana do solo. Esta relação indica o potencial de mineralização de nitrogênio no solo e mudanças na composição microbiana. Segundo (BRADY, 1989; TATE, 2000), relatam que valores acima de 10, indicam predomínio de fungos e abaixo de deste valor, predomínio de bactérias. Os resultados são adimensionais

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO (RBS)

A respiração basal do solo (RBS) é definida como a soma total de todas as funções metabólicas nas quais o CO₂ é produzido. As bactérias e os fungos são os principais responsáveis pela maior liberação de CO₂ via degradação da matéria orgânica, sendo desta forma, a RBS está diretamente relacionada à atividade microbiana do solo (MARTINS,2011).

Os dados de RBS são mostrados na figura 4, onde a respiração basal do solo na parcela de floresta natural diminui com o aumento da profundidade, com o maior valor de RBS na primeira camada devido a disponibilidade de água ser maior na profundidade mais rasa, indicando alto nível de produtividade do ecossistema. Na parcela de exclusão, a umidade do solo diminui devido a retirada de água através das lonas instaladas, consequentemente a RBS reduz indicando menor atividade ou morte de parte desses micro-organismos e consequente menor liberação de CO₂ para atmosfera. E ao decorrer do ano, do período mais chuvoso para o menos chuvoso há uma inversão da concentração da população microbiana entre todas as profundidades, onde o maior valor de respiração basal do solo no período menos chuvoso se concentra na profundidade 0,2-0,3 m, indicando que há distúrbio devido a migração desses micro-organismos para a região de maior conforto térmico.

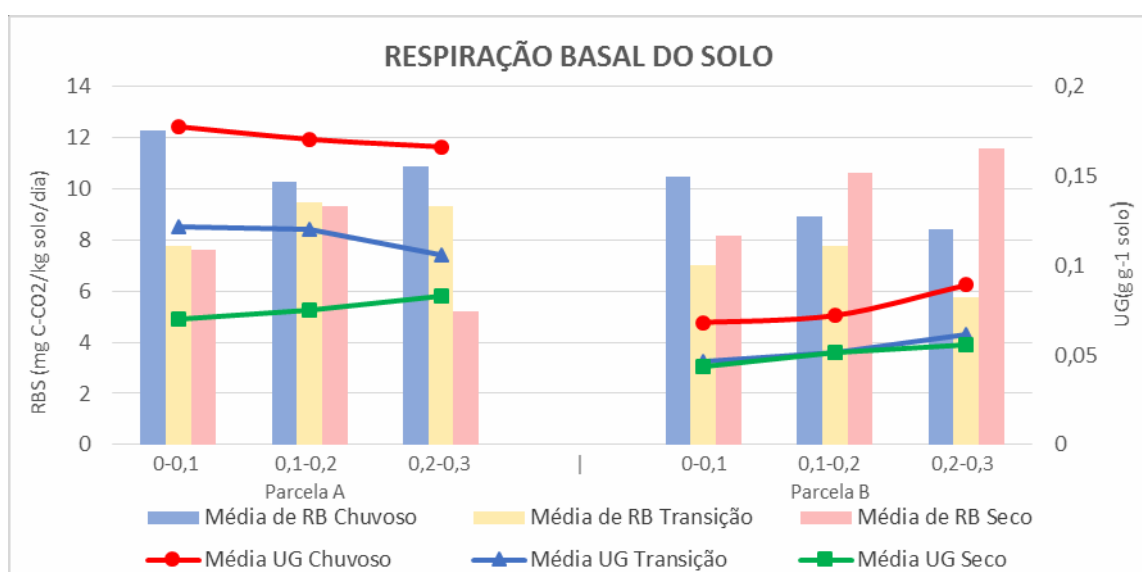


Figura 4. Gráfico da variação da RBS nas parcelas A e B em relação à variação de umidade gravimétrica.

Fonte: Do autor.

O gráfico de RBS na figura 5, mostra que a variação da Respiração Basal do Solo possui uma influência secundária em relação à temperatura, porém nota-se o significativo aumento da Ts em toda variação sazonal na parcela B, devido a exclusão da água e conseqüentemente a diminuição da umidade disponível no solo, como foi observado no gráfico anterior (Figura 4).

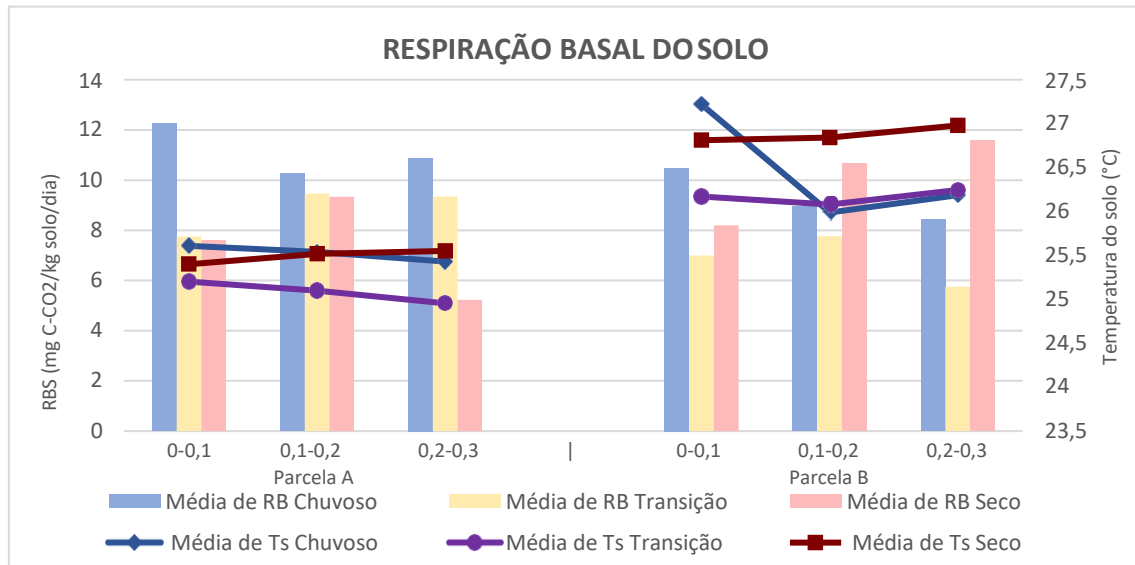


Figura 5. Gráfico da variação da RBS nas parcelas A e B em relação à variação de temperatura do solo.

Fonte: Do autor.

3.2. CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO (CBMS)

O maior teor de CBM na parcela controle é reflexo direto da disponibilidade de água no solo sobre a população microbiana. Diversos autores têm citado a umidade do solo como um dos principais fatores para o desenvolvimento da biomassa microbiana do solo (DÍAZ-RAVIÑA et al., 1995; MOSIER, 1998; MARSCHNER et al., 2002).

Percebe-se na figura 6, que os maiores teores de Carbono na Biomassa Microbiana do Solo, são encontrados no período chuvoso. Contudo, ao se comparar com o ambiente em estresse hídrico, na parcela de exclusão, a quantidade de CBMS é reduzida significativamente em relação ao controle, com a maiores concentrações de carbono no período de transição, ou seja, neste período existe uma condição de recuperação da densidade populacional da biomassa microbiana, voltando a cair no

período seco. Os baixos teores de carbono encontrados em todas as profundidades na parcela de exclusão, revelam o impacto que a exclusão de água exerce sobre as taxas de fixação de carbono no solo através da biomassa microbiana, por se tratar de um atributo sensível às perturbações no ambiente. Sendo o do período seco a época com menos umidade e consequente menor concentração de CBMS em ambas as parcelas.

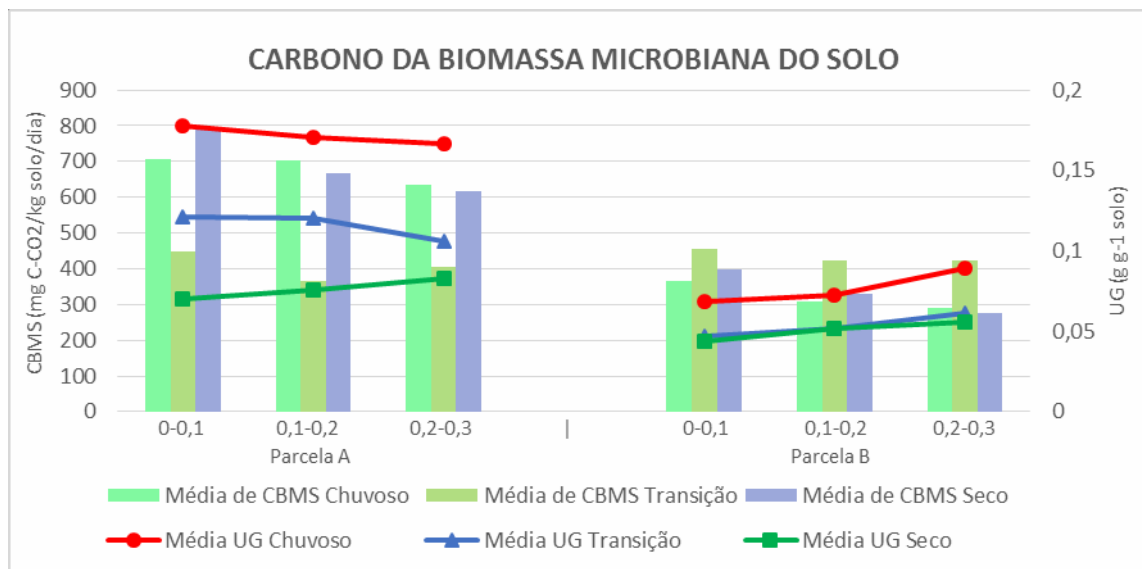


Figura 6. Gráfico da variação do CBMS nas parcelas A e B em relação à variação de umidade gravimétrica.

Fonte: Do autor.

Observa-se claramente na figura 6, a menor concentração de Carbono da Biomassa Microbiana no solo na parcela de floresta com estresse hídrico, aonde os valores de temperatura são mais elevados devido a exclusão da água (Figura 7).

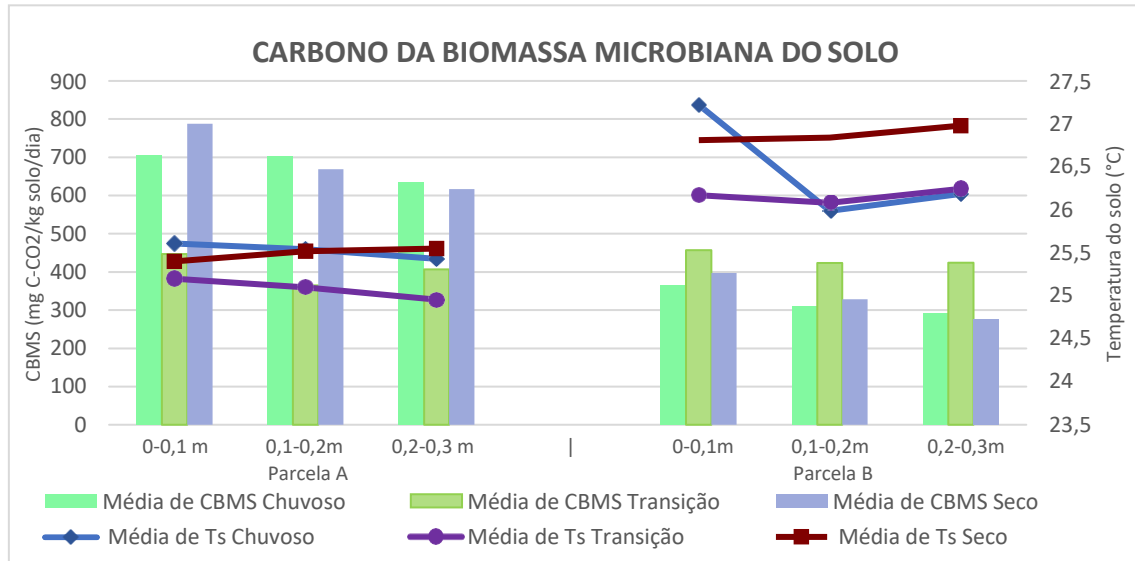


Figura 7. Gráfico da variação do CBMS nas parcelas A e B em relação à variação de temperatura do solo.

Fonte: Do autor.

3.3. NITROGÊNIO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO (NBMS)

A formação de camadas superficiais adensadas pode ainda ser influenciada pela presença de cobertura vegetal ou de resíduos culturais sobre o terreno. Quando o solo está coberto pela vegetação ou por resíduos, uma grande proporção de gotas de chuvas é interceptada pela cobertura, que absorve parte da energia cinética antes desta alcançar a superfície do solo, reduzindo a formação de crostas; além de amortecer o impacto das gotas da chuva, vegetação ou resíduos reduzem o escoamento superficial e mantêm a umidade em níveis mais elevados (DULEY, 1939). A diminuição da precipitação pluviométrica no período seco, o aumento da temperatura e a exclusão quase que total de água precipitada na parcela B, levou a uma diminuição nos teores de NBM (Figura 8), o que pode ser interpretado como resultante da menor taxa de decomposição da matéria orgânica, reduzindo cada vez mais, temporariamente, o N, com aumento da profundidade do solo, resultando na diminuição do nitrogênio e da liberação de CO₂.

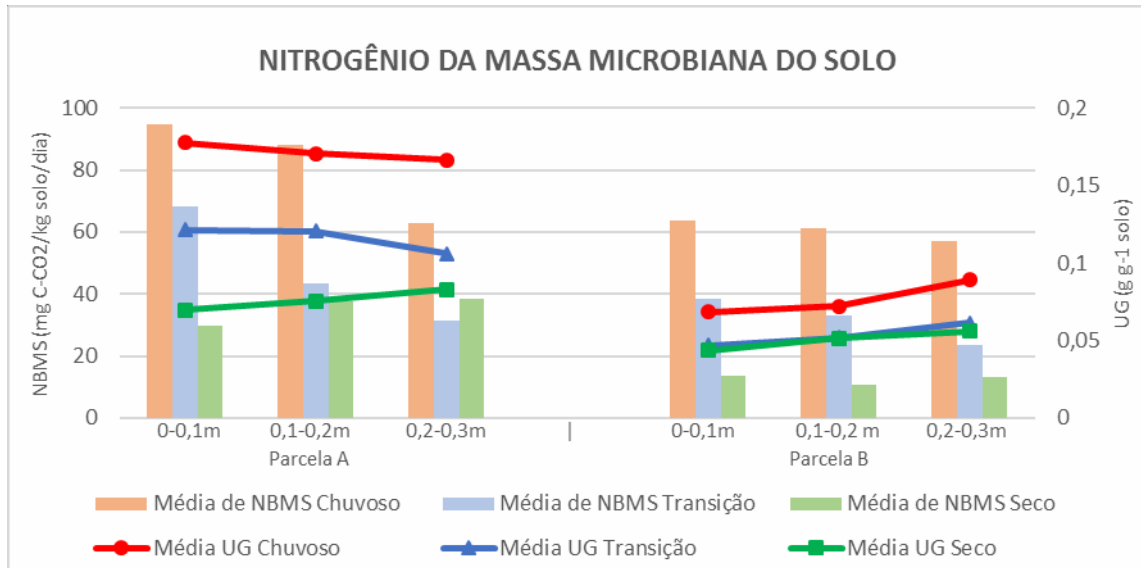


Figura 8. Gráfico variação de NBMS nas parcelas A e B em relação à variação de umidade de solo.
Fonte: Do autor.

Ao analisar a figura 9, nota-se que não há uma variação significativa do teor de Nitrogênio entre as profundidades na parcela de exclusão, onde a temperatura aumenta ao longo da profundidade, inversamente à concentração de NBMS que decai nas primeiras camadas do solo, porém na profundidade 0,2-0,3m não se observa mais essa relação.

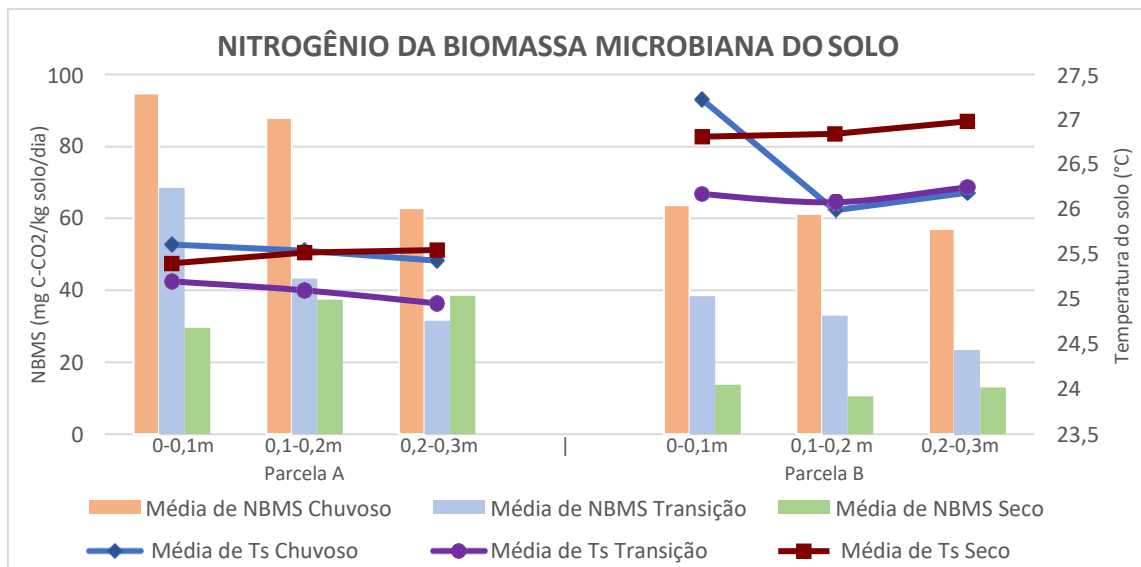


Figura 9. Gráfico da variação de NBMS nas parcelas A e B em relação à variação de temperatura do solo.
Fonte: Do autor.

3.4. POTENCIAL DE MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO NO SOLO

O efeito da sazonalidade sobre os valores de C:N mic foi observado para todas as profundidades e em ambas as parcelas e com maiores médias para o período seco. Percebe-se também que o potencial de mineralização de nitrogênio no solo aumenta de acordo com o aumento da profundidade do solo, aonde o período chuvoso aponta menores índices de potencial de mineralização de nitrogênio e suas taxas caem mais ainda na parcela de exclusão onde praticamente estabilizam em todas as camadas com uma taxa de aproximadamente 5 mg BMS kg⁻¹ solo. Valores acima de 10 mg BMS kg⁻¹ solo, indicam predomínio de fungos e abaixo deste valor, predomínio de bactérias. A microbiota bacteriana é rica em proteínas, e, por conseguinte, possuem maiores teores de N, em relação à microbiota fúngica resultando em uma menor relação C/N (ANDERSON e DOMSCH, 1980; BRADY, 1989; TATE, 2000). Portanto, o potencial de mineralização de nitrogênio no solo encontrado em Caxiuanã (figura 10), durante o período chuvoso evidencia o domínio de população bacteriana, já durante o período seco e transição, existe uma redução maior no teor de nitrogênio do solo e em consequente há o predomínio de populações fúngicas.

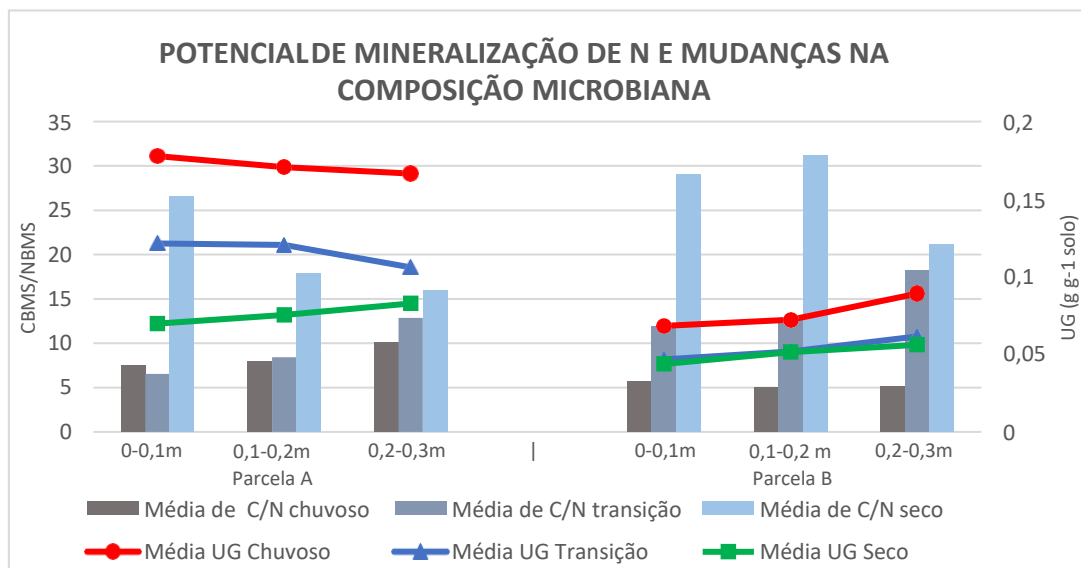


Figura 10. Gráfico da variação do potencial de mineralização de N e mudanças na composição microbiana em relação à variação de umidade gravimétrica do solo.

Fonte: Do autor.

Os maiores valores de temperatura na figura 11 estão na parcela B, nota-se também que há uma maior amplitude na variação de Ts, onde existe a predominância da população fúngica com a taxas maiores que 31 mg BMS kg⁻¹ solo na camada mais profunda, esse comportamento está relacionado com o estresse hídrico induzido, o

qual, ao se comparar com a parcela de floresta natural que possui as menores taxas do potencial de mineralização de N e mudanças na composição microbiana a Ts é inferior, ela também dispõe de uma amplitude de térmica menor entre as camadas e as diferentes sazonalidades.

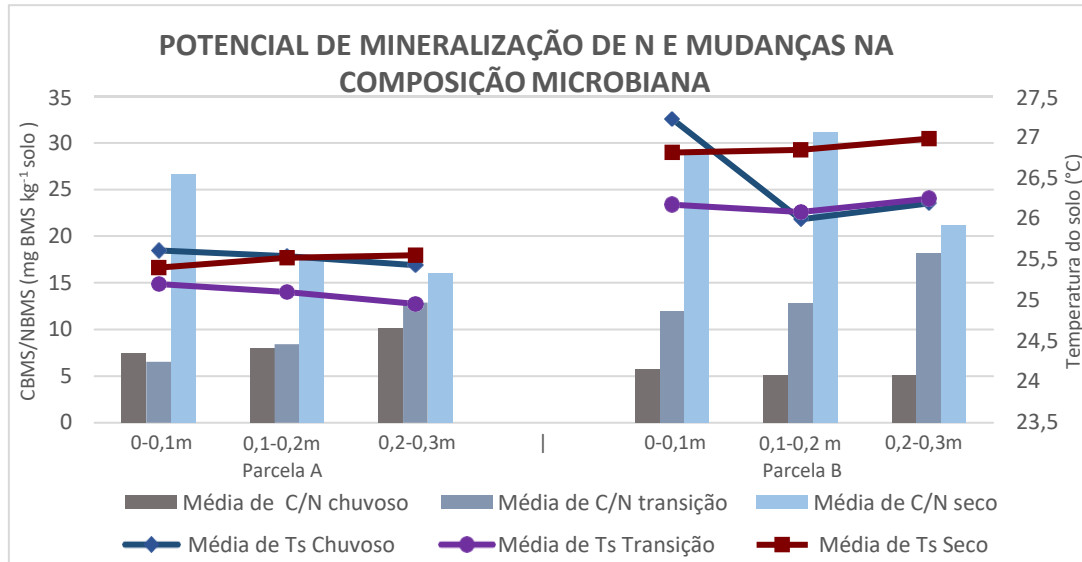


Figura 11. Gráfico da variação do potencial de mineralização de N e mudanças na composição microbiana em relação à variação de temperatura do solo.

Fonte: Do autor.

4. CONCLUSÃO

A maior taxa de respiração basal é observada na parcela A no período chuvoso e na primeira camada do solo, devido as condições naturais serem mais favoráveis à atividade microbológica. No período seco há uma redução populacional que é consequente da diminuição da taxa de RBS, evidenciando a associação deste resultado com a diminuição da disponibilidade hídrica. Na parcela com exclusão de água, observou-se a inversão das taxas de RBS nas profundidades estudadas, aonde os micro-organismos migraram para a profundidade de 0,20-0,30m em consequência da redução da umidade no período seco e aumento do estresse hídrico.

O maior teor de NBM em todos os períodos encontrados na parcela de controle evidenciaram a influência direta e rápida de que a disponibilidade hídrica tem na manutenção do nitrogênio da biomassa microbiana do solo. A sensibilidade do NBM em relação à sazonalidade foi comprovada em todas as profundidades avaliadas, com os teores do período chuvoso sendo maiores que os teores do período seco.

O Potencial de mineralização de N e mudanças na composição microbiana no solo de Caxiuanã sugere que no período chuvoso existe o predomínio da população bacteriana, uma vez que a microbiota bacteriana é rica em proteína e, por conseguinte possuem maiores teores de nitrogênio o que resulta em valores mais baixos da relação C/N mic. Já nos períodos seco e transição, há uma redução nos teores de nitrogênio e com consequente predomínio de populações fúngicas. Então o padrão observado na parcela controle é distinto do conferido para a parcela exclusão quanto à relação C:N mic.

Analisando a Biomassa Microbiana, a Respiração Basal e a relação C:N notou-se que a Umidade Gravimétrica possui uma melhor correspondência à todas as variáveis estudadas, enquanto que a Temperatura do Solo apresenta apenas uma influência secundária aos atributos microbiológicos do solo.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. **Soil Science**, v. 130, p. 211-216, 1980.
- ARAGÃO, D.V.; CARVALHO, C.J.R.; KATO, O.R.; ARAÚJO, C.M.; SANTOS, M.T.P.; MOURÃO JÚNIOR, M. Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de recuperação do solo no Nordeste Paraense. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 1, p. 11-18, 2012.
- BALDRIAN, P.; MERHAUTOVÁ, V.; PETRÁNKOVÁ, M.; CAJTHAML, T.; ŠNAJDR, J. Distribution of microbial biomass and activity of extracellular enzymes in a hardwood forest soil reflect soil moisture content. **Applied Soil Ecology**. v. 46, p. 177-182, 2010.
- BARCELLOS, C.; MONTEIRO, A. M. V.; CORVALÁN, C; GURGEL, C. H.; BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos; 1989.
- CARVALHO, M. S.; ARTAXO, P.; HACON, S.; RAGONI, V. Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. **Epidemiol. Serv. Saúde**, 2009.
- COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, SSSA, 1994. p.1-20. (Special, 35).
- COSTA, A. C. L. da; ALMEIDA, S. S. de; CARVALHO, C. R.; MEIR, P.; MALHI, Y.; COSTA, R. F. da; SILVA JUNIOR, J. de A. da; COSTA, M. C. da; TANAKA, B. T.; FISHER, R. A.; SOTTA, E. D.; OLIVEIRA, L. L.; GONÇALVES, P. H. L.; BRAGA, A. P.; BARRETO, P. N. In: LISBOA, P. L. B. Experimento Esecaflo-LBA em Caxiuanã. **EMBRAPA**, 2009.
- DÍAZ-RAVIÑA, M.; ACEA, M.J.; CARBALLAS, T. Seasonal changes in microbial biomass and nutrient flush in forest soils. **Biology and Fertility of Soils**, v.19, p.220-226, 1995.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; DULEY, F.L. Surface factors affecting the rate of intake of water by soil. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.4, p.60-64, 1939.
- FISHER, R.A.; WILLIAMS, M.; COSTA, A.C.L.; MALHI, Y.; COSTA, R.F.; ALMEIDA, S.; MEIR, P. The response of an Eastern Amazonian rain forest to drought stress: results and modelling analyses from a throughfall exclusion experiment, **Global Change Biology**, v. 13, n. 1, p. 2361-2378, 2007.
- GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; MONREAL, C.M.; ELLERT, B.H. Towards a minimum data set to asses soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal Soil Sci.**, v.74, p.367-385, 1994.

HUGHES, L. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? **Trends in Ecology and Evolution**, v.15, p 56-61; 2000.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biol Bioch**, v.42, p 1-13, 2010.

MARSCHNER, P.; MARINO, W.; LIEBEREI, R. Seasonal effects on microorganisms in the rhizosphere of two tropical plants in a polyculture agroforestry system in Central Amazonia, Brazil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, p. 68-71, 2002.

MARTINS, G. S. de Respiração basal do solo acrescido de compostos orgânicos de carbono para monitoramento da qualidade biológica do solo. In: **II CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA**, 2011.

MELO, V.S.; DESJARDINS, T.; SILVA JR, M.L.; SANTOS, E.R.; SARRAZIN, M.; SANTOS, M.M.L.S. Consequences of forest conversion to pasture and fallow on soil microbial biomass and activity in the eastern Amazon. **Soil Use and Management**. v. 28, p. 530-535, 2012.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p 1103-1110, 2004.

MOSIER, A.R. Soil processes and global change. **Biology and Fertility of Soils**, v. 27, n. 3, p. 221-229, 1998.

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. 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**, v. 30, n. 3, 265-274, 2015.

RODRIGUES, H.J.B.; SÁ, L.D.A.; RUIVO, M.L.P.; COSTA, A.C.L.; SILVA, R.B.; MOURA, Q.L.; MELLO, I.F. Variabilidade quantitativa de população microbiana associada às condições microclimáticas observadas em solo de floresta tropical húmida. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, p. 629-638, 2011.

RUIVO, M.L.P.; CUNHA, E. Mineral and organic components in archaeological black earth and yellow latosol in Caxiuanã, Amazon, Brazil. In: **TIEZZI, E.; BREBBIA, C.A.; USO, J.L. (EDS.) ECOSYSTEMS AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT**. Southampton, UK: WIT Press, p. 1113-1121, 2003.

SILVA JUNIOR, J.A.; COSTA, A.C.L.; AZEVEDO, P.V.; COSTA, R.F.; METCALFE, D.B.; GONÇALVES, P.H.L.; BRAGA, A.P.; MALHI, Y.; ARAGÃO, L.E.O.C.; MEIR, P. Fluxos de CO₂ do solo na Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará, durante o experimento ESECAFLOR/LBA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 1, p. 85-94, 2013.

STENBERG, B. Monitoring soil quality or arable land: microbiological indicators. **Acta Agric. Scand. Sect. B. Soil. Plan. Sci**, v49 p 1-24, 1999.
TATE, R.L. **Soil microbiology**. 2a ed. New York: John Wiley & Sons; 2000.