



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE CIÊNCIAS NATURAIS
LICENCIATURA INTEGRADA EM BIOLOGIA E QUÍMICA

CLARISSE DO SOCORRO OLIVEIRA DE SOUZA

TAXAS DE MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO E
NITRIFICAÇÃO EM SOLOS DE FLORESTA DE VÁRZEA NO
OESTE DO PARÁ.

Santarém, Pará
2019

CLARISSE DO SOCORRO OLIVEIRA DE SOUZA

**TAXAS DE MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO E
NITRIFICAÇÃO EM SOLOS DE FLORESTA DE VÁRZEA NO
OESTE DO PARÁ.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Ciências Naturais, como requisito obrigatório para obtenção do título de licenciada em Biologia, da Universidade Federal do Oeste do Pará.

Orientadora: Prof. Dra Adelaine Michela e Silva Figueira.

**Santarém, Pará
2019**

CLARISSE DO SOCORRO OLIVEIRA DE SOUZA

**TAXAS DE MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO E
NITRIFICAÇÃO EM SOLOS DE FLORESTA DE VÁRZEA NO
OESTE DO PARÁ.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Ciências Naturais, como requisito obrigatório para obtenção do título de licenciada em Biologia, da Universidade Federal do Oeste do Pará.

Orientadora: Prof. Dra Adelaine Michela e Silva Figueira.

Conceito: *Aprovado*

Data de Aprovação: *05/12/2019*

Adelaine Michela Figueira

Prof. Dra. Adelaine Michela e Silva Figueira– Orientador (a)

Universidade Federal do Oeste do Pará.

AVNER BRASILEIRO DOS SANTOS GASPAR

Msc. Avner Brasileiro dos Santos Gaspar - Membro

Universidade Federal do Oeste do Pará.

Raphael Pablo Tapajós Silva

Prof. Dr. Raphael Pablo Tapajós Silva- Membro

Universidade Federal do Oeste do Pará.

Dedico este trabalho a minha mãe Joelma, a Vovó Maria, as quais não mediram esforços para que eu pudesse chegar até aqui. A minha orientadora Michela, minha incentivadora, ao meu esposo Marcos, parceiro de caminhada, e sobretudo, ao meu filho Pedro, minha luz,

minha força, meu maior presente.

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, por me dá forças, saúde, oportunidade e coragem para lutar pelos meus sonhos.

As minhas mães Joelma Oliveira e mãe-Vó Maria, meus exemplos de luta, honestidade, força e resiliência. Por não medirem esforços para que eu pudesse chegar até aqui, e sobretudo por serem mães e amigas que apesar da distância sempre se fizeram presentes em todos os momentos.

Aos meus pais Naldo e Nonato, a minha irmã Claissa e a Dinda Sandra por todo apoio e amor que me deram nesta caminhada.

Ao meu esposo Marcos, por me apoiar ao longo dessa caminhada e se fazer presente na nossa família, dando amor ao nosso filho todas as vezes que eu precisei me ausentar.

Ao meu filho Pedro Jorge, motivo das minhas lutas, meu companheiro de UFOPA das aulas e seminários, após a sua chegada eu percebi o quão forte eu posso ser.

A minha orientadora e mãe científica Michela Figueira, por acreditar em mim e me mostrar que eu posso ser mãe, professora e cientista. Bem como por me orientar em todos os momentos na realização deste trabalho, compreendendo as minhas limitações pessoais.

Ao prof José Mauro por apoiar e incentivar o desenvolvimento deste trabalho.

As minhas irmãs de outra mãe Isadora Elaine e Claudiane Viana, as quais estiveram comigo desde o início do curso, amenizando a saudade e sendo a família que muitas vezes eu precisei. Eu agradeço de coração pelos almoços, jantares, lanches e sobretudo, pelo ombro amigo e por cuidarem tão bem do meu filho. Obrigado por vibrarem junto comigo e por chorarem também, durante todos esses anos.

A Franciany Albuquerque minha cunhada, comadre e amiga, agradeço pela parceria de todos esses anos, por me trazer para a família mato grossense, pelas caronas durante nossa luta na UFOPA e pela boa relação que construímos todos esses anos de ajuda mútua, companheirismo e compreensão.

Agradeço a amiga Natália Cleomara por se fazer presente nessa jornada, nos cafés da tarde, nos lazeres, nas gordices, no chá de casa nova, na maternidade, e na vida do meu pequeno Pedro. Obrigada pelo ombro amigo pequena.

Agradeço aos amigos do grupo PEER Daniel jati por todo auxílio em campo, Gleice machado pelas aulas com o tratamento dos dados, Juliana Sousa, pelo companheirismo durante nossas escritas, Alan, Deliane e Lucas por sempre contribuírem nas nossas discussões científicas.

A todos os professores e técnicos do Programa de Ciências Naturais (PCNAT) que contribuíram para a minha formação e também que me apoiaram nos momentos da maternidade, permitindo que meu pequeno me acompanhasse durante as aulas e reuniões.

Aos meus amigos Luiz, Amanda, Mária Flávia, que mesmo na distância se fizeram presente. A Gabriela de Cássia por me acolher em seu lar na minha chegada em Santarém. A Savana e Kethelen pela amizade e parceria e por serem família aqui em Santarém.

A Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) por fornecer a estrutura necessária para a minha formação.

A *United States Agency for International Development* (USAID) pelo financiamento do projeto o qual este trabalho faz parte.

A todos os amigos da turma Bio2015 por me ajudarem em tantos momentos dessa caminhada e por me acolherem juntamente com meu filho Pedro nas aulas.

Finalmente, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

“Não deixe que lhe façam pensar que você não é capaz de fazer algo só porque esse alguém não o fez, se você deseja alguma coisa, se quer realmente algo, lute por isso e ponto final”

A procura da felicidade

RESUMO

As várzeas representam áreas da Amazônia que estão sujeitas a inundações periódicas devido ao aumento do nível da água dos rios. Este “pulso de inundação” é responsável por alterar a dinâmica dos ecossistemas e sobretudo a microbiota do solo, causando impacto nos ciclos biogeoquímicos. Sendo o nitrogênio (N) diretamente associado a produtividade dos ecossistemas, estudos que investiguem a sua dinâmica em áreas de várzea são de suma importância, uma vez que seu ciclo é dependente da ação da microbiota do solo e a descarga oriunda do pulso de inundação pode modificar as condições existentes no sistema. Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi investigar a influência da sazonalidade da região nas taxas de mineralização e nitrificação em solos de floresta de várzea no Oeste do Pará. Para tanto, foram coletadas doze amostras de solo (0-10 cm de profundidade) em cada fase da hidrógrafa delimitadas em função da vazão do rio Amazonas e foram determinadas as concentrações dos íons amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) no solo. As taxas de mineralização e nitrificação foram determinadas através do método de incubação em laboratório durante sete dias. Os resultados mostraram que as concentrações de nitrato foram superiores às concentrações de amônio no solo, no período da enchente e vazante. As taxas de mineralização, em sua maioria, foram negativas, cerca de 58% na enchente e 75% na vazante, indicando uma provável imobilização de N na biomassa microbiana. As taxas de nitrificação, apesar de não apresentarem diferenças significativas, foram maiores na cheia em relação à enchente e vazante. Vale ressaltar que estudos desta ordem devem ser realizados em longo prazo e em uma maior área de abrangência para que seja possível estimar a contribuição dos ecossistemas de várzea na Amazônia para a dinâmica de nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera.

Palavras-chave: Nitrogênio, Várzea, Amazônia.

ABSTRACT

Floodplains represent areas of the Amazon that are subject to periodic flooding due to rising water levels in rivers. This “flood pulse” is responsible for changing the dynamics of ecosystems and especially the soil microbiota, impacting biogeochemical cycles. Since nitrogen (N) is directly associated with ecosystem productivity, studies investigating its dynamics in floodplain areas are of paramount importance, since its cycle is dependent on the action of soil microbiota and the discharge from the flood pulse can modify the conditions in the system. Thus, the objective of the present study was to investigate the influence of seasonality of the region on mineralization and nitrification rates in lowland forest soils in western Pará. Twelve soil samples (0-10 cm deep) were collected. in each phase of the hydrograph delimited as a function of the Amazon River flow and the concentrations of ammonium (NH_4^+) and nitrate (NO_3^-) ions in the soil were determined. Mineralization and nitrification rates were determined by the laboratory incubation method for seven days. The results showed that nitrate concentrations were higher than soil ammonium concentrations during the flood and ebb periods. Most mineralization rates were negative, around 58% in flood and 75% in ebb, indicating a probable N immobilization in microbial biomass. The nitrification rates, although not presenting significant differences, were higher in the flood in relation to flood and ebb. It is noteworthy that studies of this order must be carried out over the long term and over a larger area to estimate the contribution of floodplain ecosystems in the Amazon to the nitrogen dynamics in the soil-plant-atmosphere system.

Keywords: Nitrogen, Lowland, Amazon.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de estudo, comunidade de Arapixuna, Santarém, Pará.....	16
Figura 2 - Área de várzea na comunidade do Arapixuna com delimitação da parcela da coleta de solo em vermelho.....	17
Figura 3 - Sazonalidade da região de acordo com a vazão do rio Amazonas em $m^3 s^{-1}$ durante o período de estudo. A cor verde representa o período de enchente, a cor rosa clara a cheia, amarelo a vazante e em azul a seca, os valores abaixo representam a vazão do rio Amazonas.....	18
Figura 4 – Coleta do solo com trado.....	18
Figura 5 - Extratos de solo com KCl 2M.....	19
Figura 6 - Potes com extratos de solo filtrados.....	19
Figura 7 - Análise da concentração de nitrato.	20
Figura 8 - Amostras tratadas com o kit de análise.....	21
Figura 9 - Concentração média de NH_4^+ e NO_3^- na enchente (média + erro padrão)	23
Figura 10 - Concentração média de NH_4^+ e NO_3^- na vazante (média + erro padrão)	24
Figura 11 - Taxas de mineralização $mg^{-1} kg$ na enchente e vazante.....	25
Figura 12 - Taxas de nitrificação $mg kg^{-1}$ no período de enchente, cheia e seca.....	25
Figura 13 - Análise de regressão linear e teste de correlação de Pearson (r) entre as taxas de mineralização e umidade (A), taxas de mineralização e umidade na vazante (B), taxas de mineralização e umidade na enchente (C) e taxas de mineralização e nitrificação (D).....	26
Figura 14 - Regressão e correlação de Pearson (r) entre a taxa de nitrificação e umidade na enchente (B), Cheia (C) e Vazante (D).....	27

SUMÁRIO

<u>1. INTRODUÇÃO</u>	10
<u>2.OBJETIVOS</u>	14
<u>2.1 OBJETIVO GERAL</u>	14
<u>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u>	14
<u>3.MATERIAL E MÉTODOS</u>	15
<u>4. RESULTADOS</u>	20
<u>4.1 CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIO (NH₄⁺) E NITRATO (NO₃⁻) NO SOLO DE VÁRZEA DURANTE A ENCHENTE E VAZANTE</u>	20
<u>4.2 TAXAS DE MINERALIZAÇÃO DE NITRIFICAÇÃO DE N NO SOLO</u>	21
<u>5. DISCUSSÃO</u>	25
<u>5.1 CONCENTRAÇÃO DE NITRATO E AMÔNIO EM SOLOS DE VÁRZEA</u>	25
<u>5.2 TAXAS DE MINERALIZAÇÃO E NITRIFICAÇÃO NO SOLO</u>	26
<u>6. CONCLUSÃO</u>	29
<u>REFERÊNCIAS</u>	30

1. INTRODUÇÃO

Grandes áreas da Amazônia passam por inundações periódicas devido ao aumento do nível das águas (JUNK et al, 1989). Este “pulso de inundação” causa uma alteração nas condições do solo, principalmente na dinâmica dos microrganismos que ali habitam, provocando assim, alterações nos ciclos biogeoquímicos, os quais em sua maioria dependem da ação da microbiota do solo (KOCHORRECK e DARWICH, 2003). Além disso, as alterações provocadas pela subida das águas possuem correlação com a disponibilidade de nutrientes, e na maioria dos casos, há mudança na dinâmica dessa disponibilidade no solo durante as fases do ciclo hidrológico (POCOJESKI, 2011).

De acordo com Junk (1997) na Amazônia existem regiões denominadas de várzeas que são áreas alagadas periodicamente pelo transbordamento da água dos rios ou lagos, por precipitação direta ou pela elevação do nível da água do lençol freático, sendo ambientes complexos e altamente produtivos, fertilizados pelo aporte de águas ricas em nutrientes e material particulado proveniente do Rio Amazonas.

O regime hidrológico característico das várzeas do rio Amazonas é do tipo monomodal, logo, apresenta um pico anual com quatro fases distintas: enchente, cheia, vazante e seca (JUNK,1997). Ferreira (2016) ressalta que durante o período da enchente tem-se um aumento no nível da água do rio e à medida que a planície começa a ser inundada há um incremento na entrada de material orgânico e inorgânico dissolvido e suspenso, proveniente do rio principal.

Na cheia, ocorre estabilização no nível da água e os nutrientes e sedimentos em suspensão são depositados na planície. Já na vazante, com a diminuição do nível da água, há concentração dos nutrientes, o que contribui para as mudanças químicas na água e no solo (FERREIRA, 2016). Dessa forma, o pulso de inundação gera novas condições físico-químicas no ambiente e induz mudanças na dinâmica do ecossistema como um todo (PÉREZ, 2008).

Pedologicamente, os solos de várzea apresentam pouco ou nenhum desenvolvimento do perfil e sua maioria se inclui nas ordens dos Neossolos flúvicos, Gleissolos, Organossolos e Vertissolos, sendo eutróficos ou distróficos de acordo com sua localização topográfica, da qualidade das águas e dos sedimentos que os inundam (FARJADO et al, 2009). Corroborando, Sousa (2011) acrescenta que a deposição anual de sedimentos contribui para a formação desses solos e também para a sua fertilidade, uma vez que periodicamente recebem um aporte nutricional do rio Amazonas. Além disso, para o solo, a inundação resulta em importantes mudanças no equilíbrio dos seus compostos e elementos, provocando variação nas condições químicas, físicas, biológicas e mineralógicas (LIMA et al, 2005).

Outras alterações importantes durante o alagamento são: o decréscimo no potencial redox dos elétrons, que tem efeito no estado de oxidação de alguns elementos como o nitrato (NO_3^-). Há também mudanças na disponibilidade de oxigênio que com a subida das águas é bastante limitada, com isso, as reações de oxidação no solo e o metabolismo das bactérias aeróbicas consomem todo o oxigênio disponível na água, o que implica no decréscimo de sua quantidade em algumas partes do solo e também na redução de alguns elementos inorgânicos como o nitrato, que é reduzido a nitrogênio molecular devido à respiração anaeróbia das bactérias (LIMA et al, 2005; POKOJESKI, 2011; SOUSA, 2001).

Dentre os nutrientes que sofrem alterações com a variação do nível da água tem-se o nitrogênio (N) como um dos principais devido à relação do seu ciclo com a microbiota do solo, uma vez que o N só estará disponível para as plantas se sofrer uma série de reações no solo que são realizadas por microrganismos (bactérias, actinomicetos e cianobactérias) (SOUSA NETO, 2012; MAÇÃS, 2008; HOLZSCHUC, 2011). Dessa forma, é essencial compreender a influência da sazonalidade para a dinâmica do ciclo do nitrogênio em ecossistemas de várzea, pois através disto, poderá ser estimado se há déficit ou excesso deste nutriente ao longo dos períodos sazonais.

Cantarella (2007) define o N como elemento chave para a produtividade dos ecossistemas globais, assim, as principais reações bioquímicas em plantas, microrganismos e animais requerem a presença do nitrogênio.

No solo, este nutriente se apresenta em vários estados de oxidação como Amônio (NH_4^+), o qual predomina em solos alagados (HOLZSCHUC, 2011; POKOJESKI, 2011), Nitrato (NO_3^-); e em alguns casos nitrito (NO_2^-), além de suas formas orgânicas como aminas, aminoácidos e nitrogênio orgânico particulado (MOREIRA, 2012). Porém, em ambientes de várzea a dinâmica dessas formas pode ser alterada devido a mudança no padrão físico-químico do solo (HOLZSCHUC, 2011).

Todas as formas reativas ou combinadas de nitrogênio são provenientes da quebra da ligação tripla entre os átomos no processo de ciclagem deste nutriente, o que lhe confere grande importância nos ciclos biogeoquímicos e no metabolismo das plantas e de acordo com Cantarella (2007) uma parte do gasto energético dos vegetais está associado com as reações de redução do nitrato a amônio e a posterior incorporação do N a biomassa das plantas.

O N presente no solo está predominantemente na sua forma orgânica e a matéria orgânica do solo (MOS) é considerada uma importante fonte de nitrogênio para as plantas (RHODEN, 2006; VIEIRA, 2017). Os processos que envolvem o N ligado a MOS são

essencialmente dependentes de microrganismos e, portanto, afetados pelas condições climáticas e ambientais e por uma combinação de fatores como: umidade, pH, temperatura, etc (CANTARELLA, 2007).

Pocojeski (2011) ressalta que a umidade é um dos fatores essenciais para a ciclagem de nitrogênio no solo, onde a ação das bactérias nitrificantes pode diminuir com a redução da umidade. Em solos de várzea, à inundação periódica pode ser um fator que contribui para o aumento do teor de N inorgânico, uma vez que há um enriquecimento do substrato orgânico, favorecendo a ação da microbiota.

Em contrapartida, no alagamento, as condições anaeróbias implicam no acúmulo de N na forma de amônio e maiores perdas de N na forma de nitrato, devido ao fato de as bactérias nitrificadoras necessitarem de oxigênio para as transformações. (HOLZSCHUC, 2011).

Dentre os processos envolvidos na ciclagem de N, a mineralização e a imobilização são cruciais para analisar a dinâmica desse nutriente no solo. Entende-se por mineralização o processo de conversão de nitrogênio orgânico, para as suas formas inorgânicas disponíveis para as plantas, sendo realizada por microrganismos heterotróficos aeróbios e anaeróbios que utilizam como fonte energética carbono (C) e nitrogênio provenientes dos resíduos vegetais (VIEIRA, 2017).

Já a imobilização ocorre simultaneamente com a mineralização, no entanto, no sentido contrário, ou seja, é a conversão de N inorgânico para orgânico, realizada por microrganismos que incorporam o N inorgânico a sua biomassa e com a morte desses organismos, o N assimilado pode voltar a ser mineralizado ou seguir outros caminhos formando a MOS (CANTARELLA, 2007; MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

Moreira e Siqueira (2006) definem algumas condições ideais para que ocorra a mineralização: pH de 6 a 7, condições aeróbias, umidade do solo em torno de 50 a 70%, temperatura entre 40 e 60° C e tais condições são também favoráveis para o crescimento das plantas. Em contrapartida, Vieira (2017) ressalta que a mineralização pode ocorrer tanto em condições de alta umidade estabelecida por um ambiente de anaerobiose quanto em situações de baixa umidade ou aerobiose, no entanto, a autora sugere que teores de umidade entre 50% a 70% de capacidade de campo são as mais adequadas.

Além da mineralização e imobilização, a dinâmica de N no solo compreende também o processo de Nitrificação, Arnuti (2004) apresenta a nitrificação como um processo de oxidação biológica, ao qual o Amônio (NH_4^+) proveniente da mineralização é convertido a nitrato (NO_3^-) por microrganismos do solo. Esse processo predomina em solos oxigenados e compreende

duas etapas: a primeira o NH_4^+ é convertido a nitrito (NO_2^-) e na segunda etapa o nitrito é oxidado a nitrato. Todo esse processo é mediado por bactérias quimioautotróficas, que usam a nitrificação como fonte de energia (ARNUTI, 2004).

Dessa forma, compreendendo a importância do nitrogênio como elemento construtor dos organismos e também como elemento chave para as reações metabólicas dos vegetais, microrganismos e animais, torna-se necessário a realização de análises que estimem a sua disponibilidade nos ecossistemas, principalmente nos ambientes que sofrem inundações sazonais, pois essa mudança ambiental pode afetar a disponibilidade de N para as plantas, assim, afetando o equilíbrio dos ecossistemas.

Além disso, pouco se sabe sobre a contribuição dos ecossistemas de várzea, e sobretudo na Amazônia, para o balanço de N no sistema solo-planta-atmosfera, devido ao fato de as mudanças causadas pelo alagamento gerarem uma nova condição no solo. Desse modo, estudos que investiguem o padrão da ciclagem de nitrogênio em solos de várzea são necessários, principalmente pelo fato de ainda existirem lacunas sobre a contribuição do aporte de água e sedimentos trazidos com o pulso de inundação para as transformações de N-mineral no solo e sua posterior disponibilidade para a cadeia trófica.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

O presente estudo teve como objetivo determinar a influência da sazonalidade nas taxas de mineralização e nitrificação em solos de floresta de várzea, no Oeste do Pará.

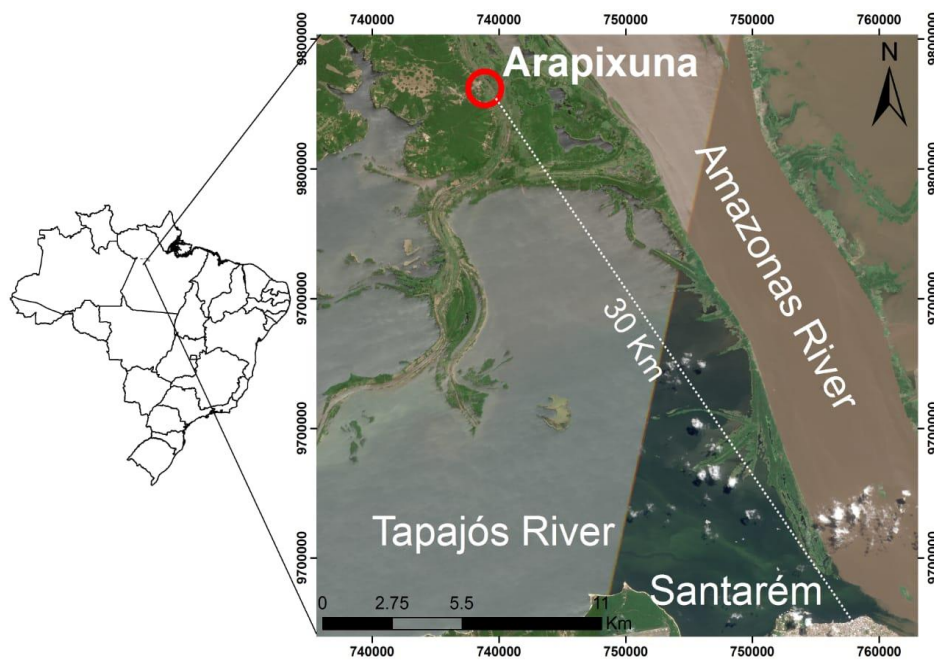
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar a concentração de amônio e nitrato no solo de várzea
2. Verificar a taxa de mineralização durante as fases do ciclo hidrológico: enchente e vazante.
3. Determinar a taxa de nitrificação no solo durante as fases do ciclo hidrológico: enchente, cheia e vazante.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no ano de 2019, no distrito de Arapixuna, Santarém, Pará, (Figura 1) localizado entre as coordenadas 02°13'50" S e 54°50'51" O. A comunidade fica a aproximadamente 30 km do porto da cidade de Santarém, com acesso pelo Igarapé do Arapixuna, um pequeno rio de água branca, tributário do rio Amazonas, com grande carga de material em suspensão de sedimentos proveniente dos Andes.

Figura 1: Área de estudo, comunidade de Arapixuna, Santarém, Pará.

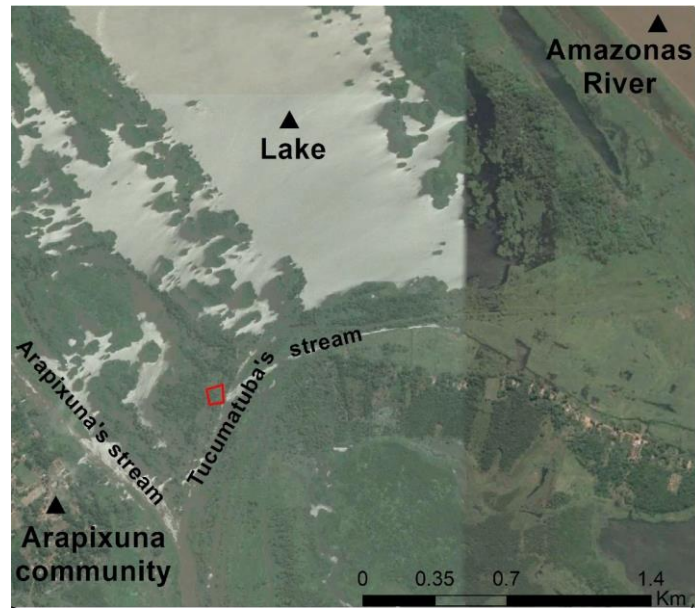


Fonte: Autores

De acordo com a classificação de Köppen, o tipo climático da região é o Am (clima tropical chuvoso) com umidade relativa média de 85%, temperatura média anual de 26°C, compreendendo duas estações no ano, a seca com precipitação de aproximadamente 100 mm ao mês, e a chuvosa com precipitação acima de 200 mm por mês (ALVARES et al, 2013).

A área de estudo caracteriza-se como uma floresta de várzea, periodicamente inundada, localizada ao leste da sede da comunidade, entre as margens do Rio Amazonas e igarapé do Arapixuna (MACHADO, 2019). As amostras do presente estudo foram coletadas em uma parcela de 50 m x 50 m (Figura 2).

Figura 2: Área de várzea na comunidade do Arapixuna, com delimitação da parcela de coleta de solo em vermelho



Fonte: Daniel Jati, 2019.

A coleta das amostras foi realizada de acordo com a sazonalidade da região, (Figura 3) com uma coleta em cada período: enchente, cheia e vazante.

Figura 3: Sazonalidade da região de acordo com a vazão do rio Amazonas em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ durante o período de estudo. A cor verde representa o período de enchente, a cor rosa clara a cheia, amarelo a vazante e em azul a seca, os valores abaixo representam a vazão do rio Amazonas.

2019									
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT
E	E	E	C	C	C	C	V	V	S
164	186	230	248	265	276	256	220	172	118

Fonte: Autores

Foram selecionados três pontos na parcela, e em cada ponto foram coletadas quatro amostras (A1, A2, A3, A4), totalizando doze amostras coletadas na profundidade 0-10 cm.

A coleta individual de cada amostra foi realizada com trado (Figura 4) na enchente e vazante; e com um tubo na fase da cheia, devido ao fato de o nível da água estar muito alto para uso do trado. Foram retiradas aproximadamente 300 g de solo, que foram depositadas em sacos plásticos, vedados e acondicionados em caixa térmica. As amostras foram transportadas ao laboratório e as extrações foram realizadas imediatamente ou em no máximo 24 horas após as coletas.

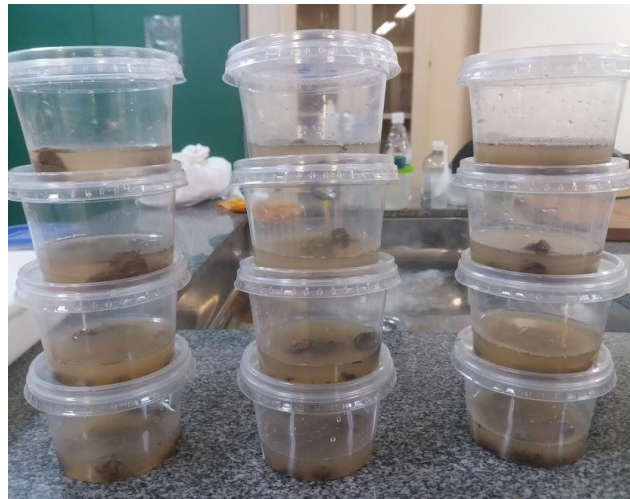
Figura 4: Coleta do solo com trado.



Fonte: Daniel jati

Para determinar a concentração de N-mineral e as taxas de mineralização e nitrificação no solo, foi utilizado o método de incubação em laboratório de curto tempo (PICOLLO et al, 1994). Inicialmente foi pesado 10g de solo úmido em potes com tampa e adicionado 50 ml de solução KCl 2M (Figura 5), em seguida a solução foi agitada no decorrer de 24 horas, para assim, finalizar o processo de extração dos nutrientes em estudo.

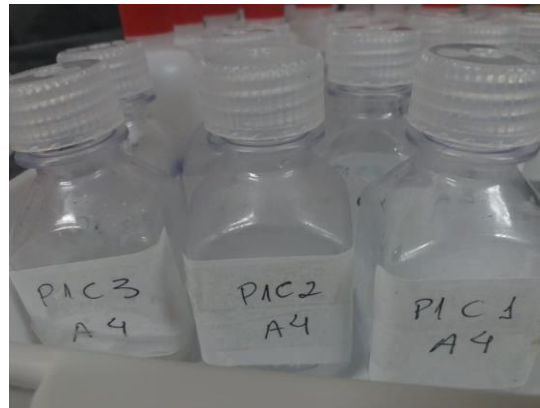
Figura 5: Extratos de solo com KCL 2M.



Fonte: Autores

Após 24 horas, estas amostras foram filtradas com uso de filtros Whatman de microfibras de vidro 25 mm, acoplados a uma seringa de injeção, em seguida foram identificadas (Figura 6) e depois congeladas para as leituras da concentração de nitrato e amônio no tempo 0 (T=0). É importante ressaltar que a cada extração foram feitas amostras controles (branco) para assegurar a ausência de interferências externas no experimento.

Figura 6: Potes com extratos de solo filtrados.



Fonte: Autores

Após o processo de filtragem o solo foi acondicionado em caixa de isopor e incubado durante sete dias. Após esse período, o processo de extração e filtragem foi repetido com o objetivo de obter a taxa de mineralização e nitrificação no solo por dia.

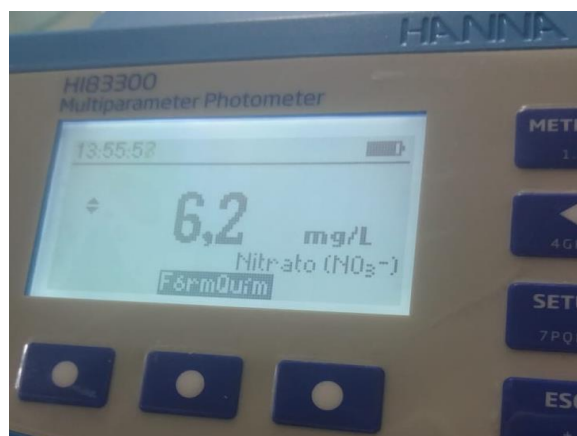
Para a determinação da umidade do solo pesou-se 15 g de solo úmido em cápsulas de alumínio, retirando o peso da cápsula com a função tara da balança, em seguida essas amostras foram secas em estufa por 24 horas a 105° C, novamente pesadas e a umidade foi calculada

pela seguinte fórmula:

$$U(\%) = \frac{\text{massa de água}}{\text{massa de solo seco}} \times 100$$

As leituras das concentrações de Amônio e Nitrato foram realizadas em espectrofotômetro UV, marca HANNA modelo HI83300 (Figura 7) e a metodologia de cada análise está descrita no manual do equipamento (MAN83325 10/16-1), utilizando kits específicos para determinação de cada composto (Figura 8).

Figura 7: Análise da concentração de nitrato.



Fonte: Autores.

Figura 8: Amostras tratadas com o kit de análise



Fonte: Autores

A taxa de mineralização é calculada através da variação da concentração de NO_3^- e NH_4^+ durante o intervalo de sete dias, de acordo com a equação:

$$(\text{NH}_4^{+t7} + \text{NO}_3^{-t7}) - (\text{NH}_4^{+t0} + \text{NO}_3^{-t0}) / t$$

O primeiro termo representa a soma da quantidade de N-mineral (nitrato e amônio) no intervalo de sete dias, o segundo termo representa a soma das concentrações no tempo zero, antes do período de incubação. Sendo t = tempo de incubação em dias.

Dessa forma, a divisão da mineralização por sete (tempo de incubação definido para este estudo) indica a taxa de transformação de N por dia. Já a taxa de nitrificação é calculada através da variação da taxa de conversão de amônio a nitrato durante sete dias, pela seguinte equação: $(\text{NO}_3^{-t7} - \text{NO}_3^{-t0})$, dividindo a taxa de nitrificação por sete, tem-se a taxa nitrificada a cada dia.

Para a análise dos dados foi utilizado o Software BioEstat 5.0. Inicialmente foi realizado o teste de normalidade de Shapiro Wilk. Após isso, como os dados não seguiram uma distribuição normal, utilizou-se o teste não-paramétrico Kruskal-Wallis para análise de variância dos dados de concentração de nitrato e amônio nos diferentes períodos, bem como das taxas de mineralização e nitrificação.

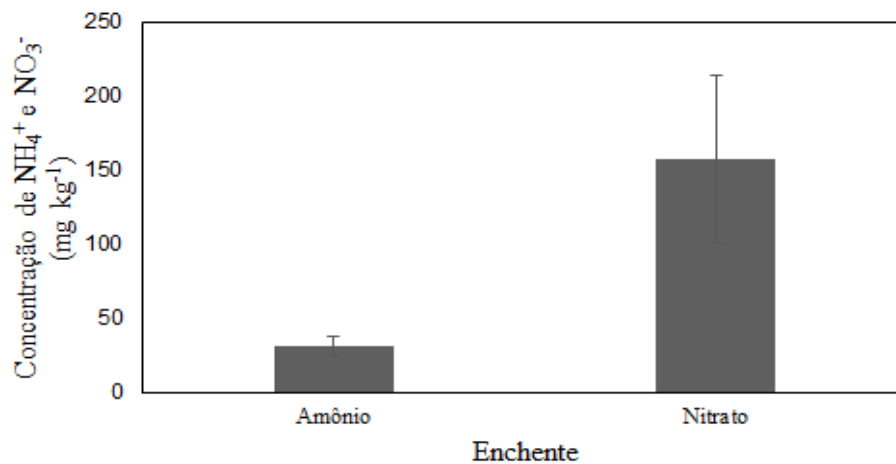
Além disso, foram utilizados os testes de regressão linear para observar se há relação de causa-efeito entre as variáveis: taxa de mineralização e umidade, taxa de mineralização e nitrificação, taxa de nitrificação e umidade, e correlação de Pearson (r) a fim de observar a magnitude das relações entre as variáveis estudadas. Foi utilizado um nível de significância de 95% ($p < 0,05$), tanto para o coeficiente de Pearson quanto para o Shapiro-Wilk.

4. RESULTADOS

4.1 CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIO (NH_4^+) E NITRATO (NO_3^-) NO SOLO DE VÁRZEA DURANTE A ENCHENTE E VAZANTE.

Na enchente a concentração de amônio variou de $0,49 \text{ mg kg}^{-1}$ a 91 mg kg^{-1} (Figura 9), já a de nitrato variou de $3,7 \text{ mg kg}^{-1}$ a 633 mg kg^{-1} . Observa-se que nesse período a concentração média de nitrato no solo foi superior à de amônio no solo.

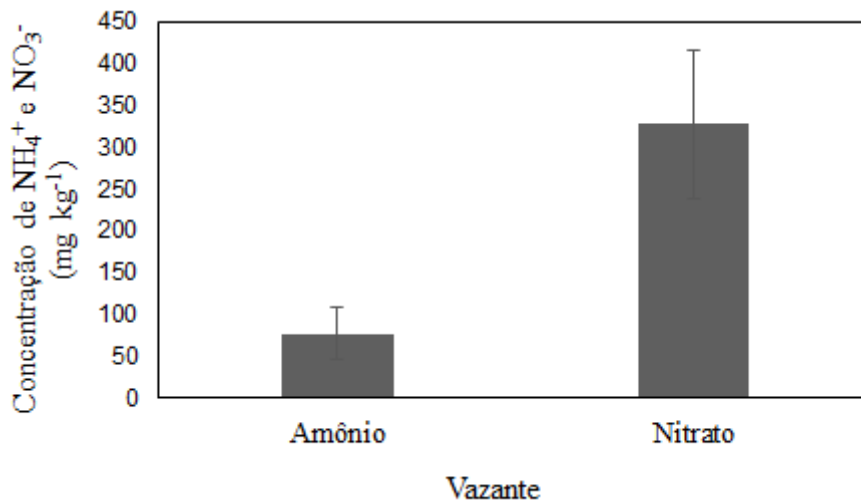
Figura 9: Concentração média de NH_4^+ e NO_3^- na enchente (média + erro padrão).



Fonte: Autores

Na vazante, a concentração média de nitrato também foi mais elevada que a de amônio variando de aproximadamente $2,46 \text{ mg kg}^{-1}$ a 596 mg kg^{-1} em comparação com a de amônio que variou de $0,18 \text{ mg kg}^{-1}$ a 408 mg kg^{-1} (Figura 10). Todavia, analisando os nutrientes sazonalmente, foi observado que não há variação significativa nas concentrações de nitrato e amônio na enchente e vazante.

Figura 10: Concentração média de NH_4^+ e NO_3^- na vazante (média + erro padrão).

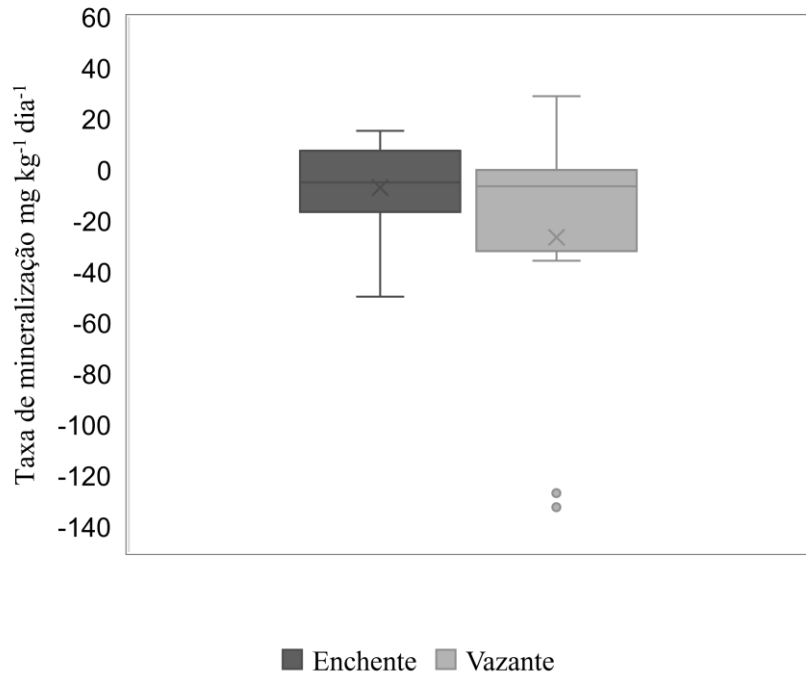


Fonte: Autores

4.2 TAXAS DE MINERALIZAÇÃO DE NITRIFICAÇÃO DE N NO SOLO

As taxas de mineralização na enchente variaram de $0,15 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ a $15,25 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Já na vazante, foram observadas taxas de mineralização variando entre $0,2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e $28,90 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 11). A média observada na enchente foi de $-5,04 \pm 5,08$ e na vazante $-26,47 \pm 14,64$. Não foram observadas diferenças significativas entre as taxas de mineralização nos diferentes períodos analisados. Observa-se também que as taxas de mineralização apresentam valores negativos.

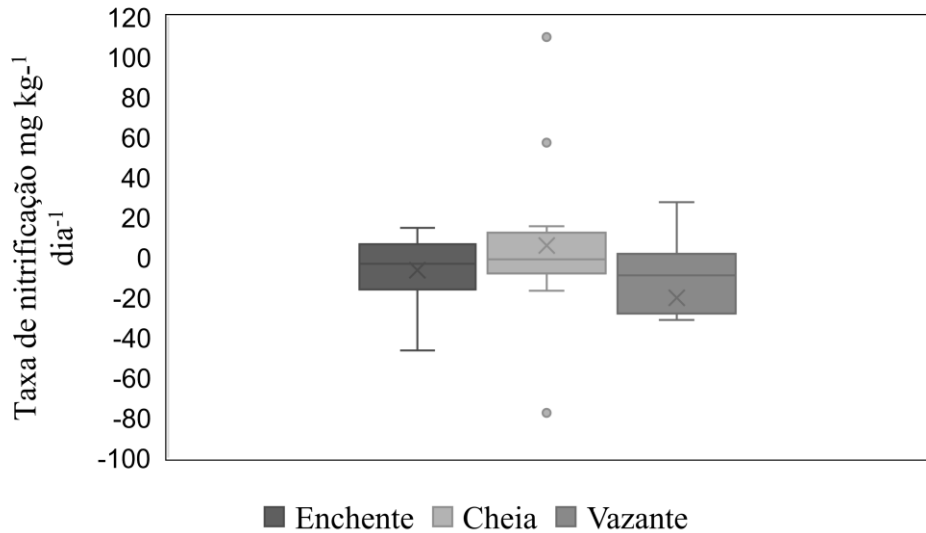
Figura 11: Taxas de mineralização $\text{mg kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$ na enchente e vazante. O X representa a média, a linha central a mediana, as barras o desvio padrão, os pontos dispersos os outliers e as linhas superior e inferior indicam os pontos de máximo e mínimo.



Fonte: Autores

As taxas de nitrificação, na enchente, variaram de $1,29 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ a $14,79 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Na cheia foram observadas taxas variando entre $2,93 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e $110 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e na vazante, a variação foi de $2,41 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ a $6,37 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 12). Observa-se também que as taxas de nitrificação foram em grande parte, negativas. Entre as amostras analisadas, foram observadas 66% com valores negativos na enchente, 50% na cheia e 75% na vazante, indicando possível imobilização de N no solo.

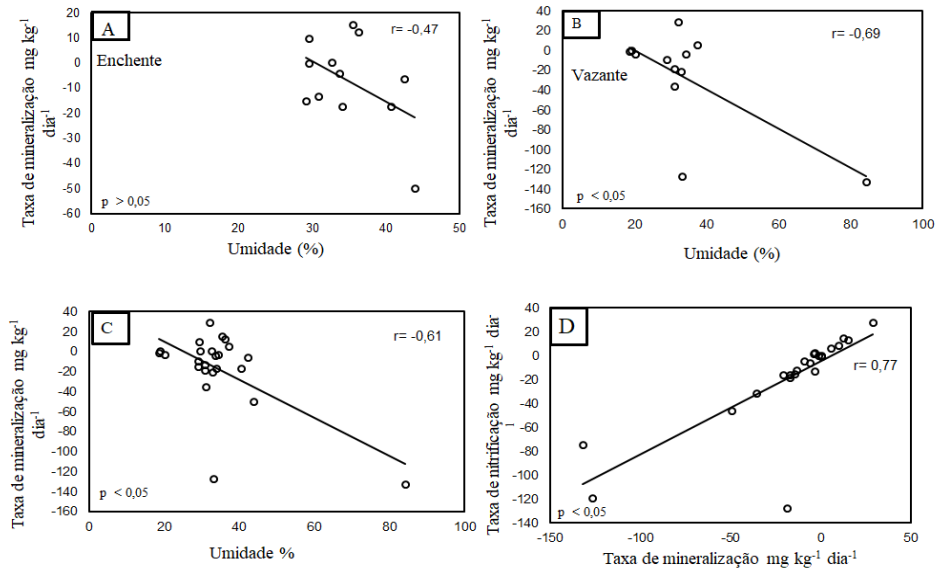
Figura 12: Taxas de nitrificação $\text{mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ no período de enchente, cheia e seca. O X representa a média, a linha central a mediana, as barras o desvio padrão, os pontos dispersos os outliers e as linhas superior e inferior indicam os pontos de máximo e mínimo.



Fonte: Autores

Nos testes de correlação de Pearson (r) foi possível notar que, entre os parâmetros adotados há correlação negativa e significativa entre a taxa de mineralização e a umidade, a taxa de mineralização e taxa de nitrificação. Analisando os dados sazonalmente, observou-se correlação significativa apenas entre a taxa de mineralização e umidade na vazante (Figura 13).

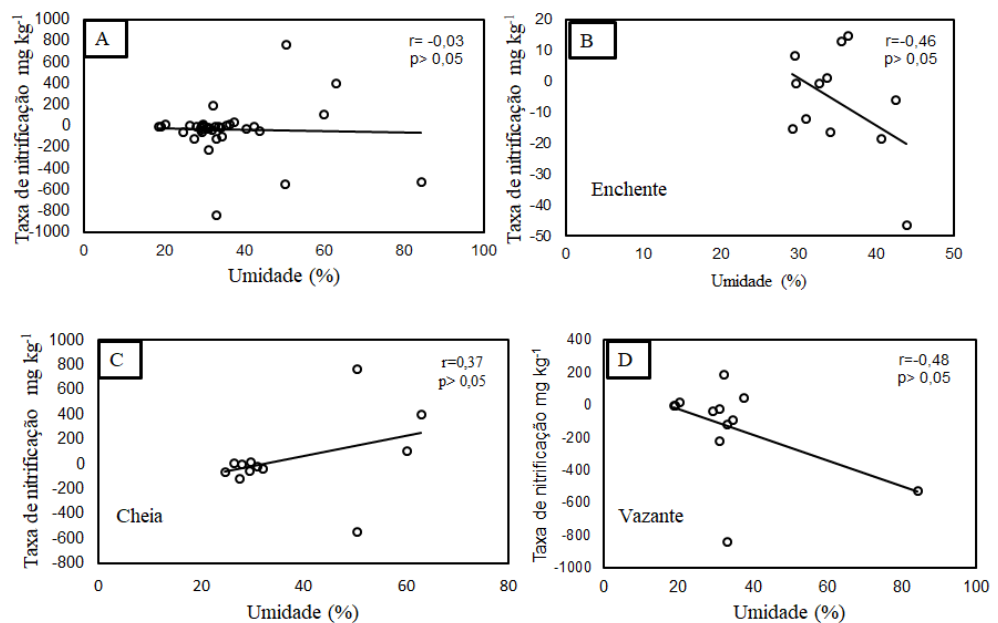
Figura 13: Análise de regressão linear e teste de correlação de Pearson (r) entre as taxas de mineralização e umidade na enchente (A), taxas de mineralização e umidade na vazante (B), taxas de mineralização e umidade em todos os períodos (C) e taxas de mineralização e nitrificação em todos os períodos (D).



Fonte: Autores

Com relação aos testes de correlação entre a taxa de nitrificação e umidade, observou-se que, em nenhum período da hidrógrafa a nitrificação se correlacionou significativamente com a umidade (Figura 14)

(Figura 14). Figura 14: Regressão e correlação de Pearson (r) entre a taxa de nitrificação e umidade na enchente (B), Cheia (C) e Vazante (D).



Fonte: Autores

5. DISCUSSÃO

5.1 CONCENTRAÇÃO DE NITRATO E AMÔNIO EM SOLOS DE VÁRZEA

O padrão de maiores concentrações de amônio em relação ao nitrato encontrado neste estudo diverge de alguns estudos na região Amazônica. Pocojeski (2011) ao estudar a disponibilidade de N-mineral em solos de várzea encontrou um padrão em que as concentrações de NH_4^+ durante os tratamentos foram, em maioria, superiores às de NO_3^- . Kreibich et al (2003), também em solos de várzea na Amazônia, encontraram concentrações de amônio superiores à de nitrato principalmente no início fase terrestre, onde o NO_3^- representou apenas 15% do total de N inorgânico dissolvido.

Shrestha et al, (2014) apontam em sua pesquisa com solos de várzea que após os períodos de inundação a quantidade de NH_4^+ é significativamente maior se comparado ao outros períodos, padrão diferente do encontrado neste estudo, uma vez que as concentrações de amônio se mantiveram baixas tanto na enchente, quanto na vazante.

Já para solos na mata atlântica, o padrão encontrado por Silva (2012) foi o N inorgânico predominantemente na forma de NH_4^+ , sugerindo assim que as concentrações de N-inorgânico no solo podem ser muito variáveis e dependentes de condições pontuais.

Comparando os resultados da concentração de amônio deste estudo com o trabalho de Shrestha et al, (2014) observa-se que os valores de NH_4^+ não estão na mesma faixa, uma vez que, os valores do trabalho dos autores seguiram uma certa constância variando entre 1 mg kg^{-1} a 5 mg kg^{-1} diferente dos presentes resultados que tiveram valores variando até 596 mg kg^{-1} no período da vazante.

Embora o padrão encontrado nos resultados deste trabalho para a concentração média de NO_3^- o qual prevaleceu em relação ao NH_4^+ difira do que é encontrado na maioria dos trabalhos relacionamos a dinâmica de N em solos, é possível observar que os valores de N-mineral estão acima do que é esperado para solos de florestas tropicais (FIGUEIRA, 2013; SHRESTHA, 2014; SILVA, 2012).

As maiores concentrações de NO_3^- em relação ao amônio encontradas neste estudo podem ter ocorrido devido às condições aeróbias predominantes no solo, que estimulam a rápida conversão de amônio a nitrato, fazendo com que o NO_3^- se acumule neste. Por outro lado, concentrações de NH_4^+ inferiores podem indicar perdas por volatilização da amônia ou até mesmo a preferência das plantas em absorverem o amônio disponível no solo.

Adicionalmente, em estudos na mata Atlântica, Amazonas et al (2011) e Campos (2009) mostraram que espécies de plantas pioneiras possuem maior demanda pelo nitrato e apresentam

elevadas concentrações deste íon nas folhas em comparação a espécies mais tardias que como fonte primária consomem o amônio possuindo menor quantidade de nitrato nas folhas, corroborando a hipótese de que a comunidade vegetal pode exercer forte influência em relação às concentrações de N-mineral no solo.

Huber et al (2012) ressaltam que as concentrações de nitrato medidas na solução do solo são provenientes do resultado de consumo e produção de NO_3^- , como a nitrificação, desnitrificação, imobilização microbiana e absorção pelas plantas. Os autores ainda reforçam que parte de seus resultados relacionadas a concentração de NO_3^- foram explicados pela capacidade de campo do solo, ressaltando ainda a importância das propriedades intrínsecas do solo para as transformações de N.

Em contrapartida, maiores concentrações de NO_3^- podem provocar perdas por lixiviação deste nutriente, já que o nitrato possui alta mobilidade na solução do solo, e também perdas por desnitrificação se for estabelecido um ambiente de anaerobiose (SILVA, 2012; POCOJESKI, 2012).

Pocojeski (2012) estudando solos de várzea demonstrou que onde havia maiores teores de MOS também havia altos teores de NO_3^- , entretanto, para os solos mantidos alagados, a autora apresenta que logo no início do alagamento os valores tenderam a zero e se mantiveram dessa forma até o final das avaliações, pelo fato de o NO_3^- em condições anaeróbicas ser convertido a formas gasosas pelo processo de desnitrificação, provocando perdas de N no sistema.

5.2 TAXAS DE MINERALIZAÇÃO E NITRIFICAÇÃO NO SOLO.

Na literatura, alguns autores discorrem sobre a mineralização de nitrogênio e as variáveis que a influenciam, das quais destacam-se o tipo do solo, teor de MOS, teor de N total, relação C/N, pH do solo, temperatura, umidade, aeração, interação planta-solo além do pré tratamento recebido pela amostra de solo e das características intrínsecas de cada solo (RODHEN, 2005; POCOJESKI, 2011; CAMARGO et al, 1997). Neste trabalho, as taxas de mineralização, em sua maioria, foram negativas, cerca de 58% na enchente e 75% na vazante, indicando uma provável imobilização de N na biomassa microbiana (SILVA, 2012).

Os principais fatores que estimulam a imobilização de N pela comunidade microbiana, apontados na literatura são: o próprio crescimento microbiano, uma vez que existem diferentes demandas por N de acordo com cada microrganismo, ou seja, microrganismos que possuem menor demanda por N tendem a mineralizar o N mais facilmente (SILVA, 2012), todavia, quando a demanda é alta a taxa de N declina, causando a imobilização (PARRON, 2003) e a

autora ainda aponta em seu estudo que as menores quantidades de carbono na biomassa microbiana coincidiram com o período de maior disponibilidade de NH_4^+ e NO_3^- .

Em alguns estudos, a umidade é apontada como fator chave para as reações de mineralização e nitrificação no solo (SILVA, 2012; POCOJESKI, 2011). Neste trabalho foi encontrada uma correlação significativa entre a taxa de mineralização e umidade, onde houve picos de mineralização nos pontos que a umidade variou entre 20% a 40%. Entretanto, analisando os dados de acordo com as fases da hidrógrafa, verificou-se que a mineralização se correlacionou com a umidade apenas na vazante (Figura 13 B), na enchente não foi observado correlação significativa (Figura 13C). Este padrão também foi observado em outros trabalhos (SILVA, 2012; NEILL et al, 1995) ressaltando que apesar da intensa variação sazonal de umidade e precipitação em solos na Amazônia, a concentração de N-mineral e as taxas de mineralização no solo não tem apresentado relativas diferenças sazonais.

Adicionalmente, os resultados de Shrestha et al (2014) demonstraram altos picos de mineralização depois de períodos de inundação. Os resultados do presente estudo também seguiram esse padrão, o qual a mineralização foi maior no período da vazante. Esse fato, deve-se, em parte, à entrada de sedimentos e material orgânico oriundo da inundação, o que pode ser considerado um fator que impulsiona a atividade microbiana e a renovação de N existente, e em consequência a mineralização de N no solo.

Os resultados de correlação entre a taxa de mineralização e a taxa de nitrificação (Figura 14 D) mostraram que existe uma forte relação entre esses parâmetros, indicando que a medida que a taxa de mineralização aumenta, também aumenta a taxa de nitrificação, assim, aumentando as concentrações de nitrato no solo e sua disponibilidade no ecossistema, como já mostrado acima.

Tratando-se de nitrificação, Parron (2003) encontrou um padrão semelhante ao presente estudo, investigando taxas de nitrificação em comunidades úmidas, onde as taxas foram mais elevadas se comparadas a ambientes secos. Neill (1997) encontrou taxas de nitrificação maiores em solos de floresta na bacia Amazônica se comparado a pastagem, indicando que a deposição de matéria orgânica nesses ambientes pode influenciar nas taxas de nitrificação.

Os valores de nitrificação deste estudo diferem do padrão encontrado por Silva (2012), sendo maiores que os valores encontrados pela autora estudando solos tropicais. Shrestha (2014) aponta que as taxas de nitrificação de seu trabalho foram em média $36 \pm 18 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ variando com o tempo e também impulsionadas após períodos de inundação, corroborando os resultados do presente estudo.

Na floresta de várzea deste estudo observou-se que as taxas de nitrificação, apesar de não serem significativas, foram mais elevadas na cheia, padrão não esperado devido a necessidade de um ambiente aeróbio para as bactérias nitrificantes, no entanto, esses resultados podem ser explicados em razão de os pontos de coleta serem próximos a vegetação, principalmente árvores de grande porte que liberam oxigênio através da respiração das raízes sendo condição propícia a nitrificação (Patrick e Wyatt, 1964; Qiu e McComb, 1996). Este padrão também foi encontrado por Shrestha et al (2014) que consideram as áreas que sofrem influência dos pulsos de inundação como “*hot spots*” de transformações de nitrogênio.

6. CONCLUSÃO

A dinâmica de nitrogênio no solo da várzea neste estudo não apresentou um padrão sazonal significativo, no entanto, foi possível notar que na vazante a umidade teve forte influência para as taxas de mineralização e esse processo foi menos intenso nos pontos em que a umidade foi maior.

As taxas de mineralização e nitrificação estão fortemente correlacionadas, o que nos fornece indícios que na várzea o nitrogênio não está se acumulando na forma de NH_4^+ , como mostram outros estudos. O padrão de N-mineral encontrado nos presentes resultados foi diferente, no geral, do que é citado na literatura para solos da Amazônia e de ambientes alagados, mostrando que as áreas de várzea são um ambiente muito dinâmico e variável quando se trata da dinâmica de nitrogênio.

As taxas de médias de nitrificação foram mais elevadas na enchente e cheia, e menores na vazante, o que pode indicar um possível padrão sazonal para este importante processo no ciclo do N. Vale salientar, no entanto, que para confirmar se a nitrificação na várzea acompanha a sazonalidade da região são necessárias maiores amostragens neste estudo, principalmente na fase da seca.

Os resultados mostram que além da umidade e sazonalidade outras variáveis podem estar relacionadas com a dinâmica das transformações de N-mineral no solo de várzea. Diante disso, é necessário que estudos como este sejam aprofundados, principalmente em ambientes dinâmicos como as várzeas, para que assim, possamos saber o que controla o ciclo do N nessas áreas, e sobretudo para um manejo adequado do solo, minimizando as perdas e o déficit deste nutriente no ecossistema.

REFERÊNCIAS

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., de Moraes, G., Leonardo, J., & Sparovek, G. (2013). **Köppen's climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728.
- AMAZONAS, N. T.; MARTINELLI, L. A.; PICCOLO, M. C.; RODRIGUES, R. R. **Nitrogen dynamics during ecosystem development in tropical forest restoration**. *Forest Ecology and Management*, v. 262, p. 1551-1557, 2011.
- ARNUTI, F. **Dinâmica de Nitrogênio em Argissolo em função de irrigação e adubação nitrogenada do milho em plantio direto**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio grande do Sul, programa de pós-graduação em Ciência do Solo. Porto Alegre, 2004. Disponível em <www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/101647/000933037.pdf?sequence=1>. Acesso em 21 de nov. 2019
- CAMARGO, F.A.; GIANELLO, C.; VIDOR, C. **Potencial de mineralização do nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*.
- CAMPOS, M. M. S. **Ecofisiologia do uso do nitrogênio em espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas**. Dissertação - Mestrado em Diversidade Vegetal e Meio ambiente. 102 p. Instituto de Botânica. Secretaria de Meio Ambiente, São Paulo, 2009. Disponível em <http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/pgibt/2015/12/Marcelo_Morena_MS.pdf>. Acesso em 21 de nov de 2019.
- CANTARELLA, H. **Nitrogênio**. In: NOVAIS, R. F., ALAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J. C. L. (eds). **Fertilidade do solo**, 1017 p. SBCS, Viçosa, 2007.
- FAJARDO, J.D.V; SOUZA, L.A.G; ALFAIA, S.S. **Características químicas de solos de várzeas sob diferentes sistemas de uso da terra, na calha dos rios baixo Solimões e médio Amazonas**. *Acta Amazônica*. vol 39, 2009.
- FERREIRA, A.X. **Distribuição e Propriedade Hidráulica Dos Solos Da Várzea De Curuai, Pará**. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília (UNB). Brasília, 2016. Disponível em <https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/20937/1/2016_AlvaroXavierFerreira.pdf> Acesso em 21 de nov de 2016.
- FIGUEIRA, A.M.S. **O cultivo de soja na região sudoeste da Amazônia e suas implicações na dinâmica de nitrogênio**. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 2013. Disponível em <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64135/tde-22052013-111124/pt-br.php>> Acesso em 10 de out de 2019.
- HOLZSCHUC, M.J. Nitrato no suprimento de nitrogênio para o arroz cultivado sob alagamento. Tese de doutorado. Universidade Federal do RS. Porto Alegre, 2011.
- Huber, B., Luster, J., Bernasconi, S. M., Shrestha, J., & Graf Pannatier, E. **Nitrate leaching from short-hydroperiod floodplain soils**. *Biogeosciences*, 2012.

JUNK, W.J., 1989. **Flood tolerance and tree distribution in Central Amazonian floodplains.** In: NIELSEN, L.B., NIELSEN, I.C., BALSLEV, H. (Eds.), *Tropical Forests: Botanical Dynamics, Speciation and Diversity*. Academic Press, London.

Junk, Wolfgang J. **General aspects of floodplain ecology with special reference to Amazonian floodplains.** *The Central Amazon Floodplain*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1997.

KOSCHORRECK, M. DARWICH, A. **Nitrogen dynamics in seasonally flooded soils in the Amazon floodplain.** *Wetlands Ecology and Management*. Netherlands, 2003.

KREIBICH, H; LEHMANN, J; SCHEUFELE, G; KERN, J. **Nitrogen availability and leaching during the terrestrial phase in a vrzea forest of the Central Amazon floodplain.** *Biol Fertil Soils*, 2003.

LIMA, H.N; MELLO, J.W.V; SCHAEFER, C.E.G.R; KER, J.C. **Dinâmica da mobilização de elementos em solos da Amazônia submetidos à inundação.** *Acta Amazonica*. vol 35. 2005.

MAÇÃS, J.E.S. **Nitrogênio nítrico e amoniacal no desenvolvimento da parte aérea do milho cultivado em argissolo.** Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo. Porto Alegre, RS, 2008. Disponível em <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/15874/000692334.pdf?sequence=1> Acesso em 15 de nov de 2019.

MACHADO, L.M. **Comparação entre a estrutura, biomassa e dinâmica de crescimento de uma floresta secundária de terra firme e floresta de várzea no distrito de Arapixuna, Santarém, Pará.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Oeste do Para. Santarém, 2019. Acesso em 12 de out de 2019.

MOREIRA, F.M.S; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo.** Universidade Federal de Lavras. Editora UFLA. 2 ed. Lavras, MG, 2006.

NEILL, C. PICCOLO, M.C.; STEUDLER, P.A.; MELILLO, J.M.; FEIGL, B.J.; CERRI, C.C. **Nitrogen dynamics in soils forests and active pasture in the western Brazilian Amazon Basin.** *Soil Biology and Biogeochemistry*, Amsterdam, v. 27, n. 9.1995.

Neill, C; Piccolo, MC; Cerri, C.C; Steudler, P.A; Melillo J.M; Brito, M. **Mineralização líquida de nitrogênio e taxas líquidas de nitrificação em solos após o desmatamento de pastagens na paisagem da bacia amazônica do sudoeste brasileiro.** *Oecologia*, 1997.

PARROM, L.M; BUSTAMANTE, M.M.C; PRADO, C.L.C. **Mineralização de nitrogênio e biomassa microbiana em solos de mata de galeria: efeito do gradiente topográfico.** Embrapa Cerrados. Planaltina, DF, 2003.

Patrick, W.H, Wyatt, R. **Soil nitrogen loss a saresult of alternate submergence and drying.** *Soil Science Society of American Journal*. 1964.

PÉREZ. P, M. A. **Biogeoquímica da Várzea do Lago Grande de Curuai, Rio Amazonas, Pará, Brasil: Caracterização, origem, ciclagem e destino do material orgânico e inorgânico.** Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2008.

POCOJESKI, E. **Disponibilidade do Nitrogênio em Solos de Várzea e Parâmetros da Planta para Avaliação Nutricional Da Cultura Do Arroz Irrigado.** Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Maria, RS, 2011. Disponível em <<http://w3.ufsm.br/ppgcs/images/Teses/ELISANDRA-POCOJESKI-TESE.pdf>> Acesso em 20 de nov de 2019.

QIU S; MCCOMB, A.J. **Drying-induced stimulation of ammonium release and nitrification in reflooded lake sediment.** Marine and Freshwater Research.47: 531–536. 1996.

PICCOLO, M. C; CHRISTOPHER, N; CARLOS C. C. **Natural abundance of 15 N in soils along forest-to-pasture chronosequences in the western Brazilian Amazon Basin.** Oecologia 99.1-2 (1994): 112-117.

RHODEN, A.C; SILVA, L.S; BRITZKE, D; RANNO, S.K. **Relação entre características de solos de várzea e a absorção de nitrogênio pelo arroz irrigado em dois cultivos sucessivos em casa-de-vegetação.** Revista Brasileira de Agrocência, Pelotas, v. 12, n. 3, p. 325-331, jul-set, 2006.

SHERESTHA, J; NIKLAUS, P.A; PASQUALE, N; HUBER.B; BERNARD, R. L. FROSSARD, E; SCHLEPPI, P; TOCKENER, K; LUSTER, J. **Flood pulses control soil nitrogen cycling in a dynamic river floodplain.** Gerderma, 2014.

Silva, L. P. **Dinâmica de nitrogênio em microbacias em remanescentes de Mata Atlântica.** Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Santa Cruz. Programa de Pós-graduação em Sistemas Aquáticos Tropicais. (Itacaré-Uruçuca/Ba). -Ilhéus-Ba: UESC, 2012. 74f. Disponível em <https://s3.amazonaws.com/guiase/wp-content/uploads/sites/171/2016/11/24105629/34_Lenilda-silva-UESC.pdf> Acesso em 21 de nov de 2019.

SILVA, L. S; POCOJESKI, E; RHODEN, A. C. **Dinâmica de nitrogênio mineral após alagamento em solos de várzea do Rio Grande do Sul.** Ciências Agrárias, Londrina, 2011.

SOUSA NETO, E.R. **Perdas de nitrogênio pela emissão de óxido nitroso (N₂O) e sua relação com a decomposição da serapilheira e biomassa de raízes na floresta de Mata Atlântica.** Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo. Piracicaba, São Paulo, 2008. Disponível em <<https://bv.fapesp.br/pt/publicacao/6626/perdas-de-nitrogenio-pela-emissao-de-oxido-nitroso-n2o-e-s/>> Acesso em 11 de out de 2019.

SOUSA. R.O. **Oxirredução em solos alagados afetada por resíduos vegetais. Tese de doutorado.** Universidade Federal do rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001. Disponível em <<https://www.ufrgs.br/agronomia/materiais/rogerio01.pdf>> Acesso em 5 de out de 2019.

SOUZA, K.W. **Gênese, Mineralogia, Micromorfologia E Formas De Fósforo Em Arqueo-antropossolos Da Várzea Do Rio Amazonas.** Tese de doutorado, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2011. Disponível em <<https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/1615>> Acesso em 29 de out de 2019.

VIEIRA, R.F. **Ciclo do Nitrogênio em sistemas agrícolas.** 2 ed. EMBRAPA. Brasília, Distrito Federal, 2017.