

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS LONDRINA
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

JULIA HELENA ROSSIERI

**MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO DOS RESÍDUOS VEGETAIS ADICIONADOS
AOS SOLOS ÁCIDOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2017

JULIA HELENA ROSSIERI

**MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO DOS RESÍDUOS VEGETAIS ADICIONADOS
AOS SOLOS ÁCIDOS**

Pesquisa apresentada à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2 do Curso de Graduação em Licenciatura em Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciada em Química.

Orientadora: Profa. Dra. Alessandra Stevanato

Coorientador: Dr. Mário Miyazawa

LONDRINA

2017

Espaço destinado a elaboração da ficha catalográfica sob responsabilidade exclusiva do Departamento de Biblioteca da UTFPR.

TERMO DE APROVAÇÃO

**MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO DOS RESÍDUOS VEGETAIS ADICIONADOS
AOS SOLOS ÁCIDOS.**

JULIA HELENA ROSSIERI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia 30 de novembro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de LICENCIADA EM QUÍMICA, pelo Curso de Graduação em Licenciatura em Química, Câmpus Londrina, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A discente foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho Aprovado.

Profa. Dra. Alessandra Stevanato (UTFPR)

Orientadora

Prof. Dr. Mário Miyazawa (IAPAR)

Co-Orientador

Prof. Dr. Cristiano Torres Miranda (UTFPR)

Membro Titular

Prof. Dr. Danilo Bernardino Ruiz (IAPAR)

Membro Titular

Dedico este trabalho aos meus pais, que
conduziram e incentivaram minha formação
educacional e me deram todo apoio
necessário para enfrentar as adversidades
da vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente deixo minha imensa gratidão a Deus, que nos criou e foi tão criativo nesta tarefa, por Ele ter me concedido forças e me acalmado nos meus momentos de escuridão e dado a honra de chegar ao fim com excelência nesta singular instituição UTFPR.

Agradeço a Profa. Dra. Alessandra Stevanato orientadora deste trabalho, por todas as suas contribuições, pela imensa paciência, respeito, carinho e sabedoria com que me guiou nesta trajetória, por ter aceitado enfrentar esse desafio ao meu lado, dando-me incentivo para seguir em frente. Encerro esse ciclo com a certeza de que não poderia ter feito escolha melhor.

Agradeço ao Dr. Mário Miyazawa pela orientação dessa pesquisa, sem o seu apoio e conhecimento nada disso seria real, obrigada pela paciência, compreensão, ensinamentos, respeito, por nunca se cansar de minhas perguntas e por ter me aceitado em sua pesquisa, agradeço infinitamente a sua confiança no meu trabalho.

Aos meus pais Edson Santo Rossieri e Marcia Aparecida Rossieri e familiares pelo apoio, incentivo, investimento, compreensão e amor incondicional.

Aos meus amigos que a UTFPR gentilmente me apresentou Gabriel Villarda, Antônio Casaroto e Kauane Nogueira que me acompanham desde o começo do curso e que eu pretendo levar para a vida.

Aos meus amigos de turma que enfrentaram as dificuldades ao meu lado, Daniela Pamela dos Santos, Ariane Carolina Ferreira Beltrame, Marlon Pegoraro, Thamires da Silva Souza e Gean Zapateiro, lembro-me de todos os choros que choramos juntos, de todos os momentos de treva que superamos lado a lado e de todas as madrugadas viradas em parceria para conseguir terminar todas as atividades acadêmicas, vocês são demais e meus últimos anos não seria metade do que foi sem a parceria de vocês, obrigada por fazerem parte da minha história e que vocês permaneçam na minha vida depois que encerrarmos esse ciclo.

Aos meus amigos de vida Jhonatan Jason de Oliveira Junior, Kaio Marcellus de Souza, Jhenyffer Pedrosa de Oliveira, Ana Paula Francisco, Gabriele Carolina Torres,

Danilo Bernardino Ruiz, Grazielle Ricken, pela imensa paciência comigo, por serem os melhores amigos do mundo, por me apoiarem e me incentivar durante esse período.

Ao Instituto Agronômico do Paraná por me proporcionar uma experiência única de vida e por me ceder o espaço para a realização desta pesquisa.

A todos os professores que contribuíram para minha formação profissional e ética.

Enfim, um sincero agradecimento a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

(Madre Teresa de Calcutá)

RESUMO

ROSSIERI, Julia Helena. **Mineralização do nitrogênio dos resíduos vegetais adicionados aos solos ácidos**. 2017. Nº 66 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Licenciatura em Química). Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR. Londrina, Paraná.

A quantidade de matéria orgânica no solo (MOS) é um dos principais indicativos da qualidade do solo. Compreende-se como matéria orgânica (MO) sendo todo o resíduo vegetal, esterco de animais e microrganismos em diferentes estados de decomposição, fazendo com que sua adição no solo como forragem entre plantios supra a necessidade de nutrientes do solo. Diante disso, o objetivo do trabalho é avaliar as alterações químicas pela adição de resíduos vegetais no solo da região oeste de Londrina-PR. O estudo foi conduzido no Instituto Agrônomo do Paraná utilizando um LATOSSOLO VERMELHO distroférico com pH 4,3 (solo de mata) e pH 6,3 (solo cultivado), coletados na camada 0 – 20 cm. Foram utilizados como resíduos vegetais *Mucuna cinereum*; *Canavalia brasiliensis* e Palha de milho pós colheita, incubados a 2 kg de solo nos diferentes pH utilizando as proporções 1,0%, 2,0% e 5,0% (m/m). Todo experimento foi feito em triplicata e teve duração de 7 meses, com coletas periódicas durante o período. Serão determinadas nas coletas de solo as concentrações de carbono pelo método de Walkley Black e nitrato e amônio pelo método colorimétrico. Os resultados indicam que o resíduo de Palha de milho é inviável para suprimento de nitrogênio no solo devido a sua composição que o leva a competir por nitrogênio com os microrganismos do solo. Os resíduos de *Canavalia brasiliensis* e *Mucuna cinereum* tiveram comportamentos análogos sendo dois resíduos indicados para a forragem do solo e fornecimento de nitrogênio para o meio.

Palavras-chave: Matéria orgânica; Nitrato; Amônio; Resíduo vegetal.

ABSTRACT

ROSSIERI, Julia Helena. **Mineralization of nitrogen from plant residues added to acid soils**. 2017. N° 66 p. Final Paper (Degree in Chemical Education). Federal Technological University of Paraná UTFPR. Londrina, Paraná.

The amount of organic matter in the soil (MOS) is one of the main indicatives of soil quality. It is understood as organic matter (OM) being all the vegetal residue, manure of animals and microorganisms in different states of decomposition, making that its addition in the soil like fodder between plantations supra the need of nutrients of the ground. Therefore, the objective of the work is to evaluate the chemical changes by the addition of vegetal residues in the soil of the western region of Londrina-PR. The study will be conducted at the Instituto Agronômico do Paraná using a dystroferric RED LATOSOL with pH 4.3 (forest soil) and pH 6.3 (cultivated soil), collected in the 0-20 cm layer. *Mucuna cinereum* shall be used as plant residues; *Canavalia brasilienses* and post harvest corn straw, incubated at 2 kg soil at different pH values using the proportions 1.0%, 2.0% and 5.0% (m / m). Each experiment will be done in triplicate and will last 7 months, with periodic collections during the period. The concentrations of carbon by the method of Walkley Black and nitrate and ammonium by the colorimetric method will be determined in the soil samples. The results indicate that the residue of corn straw is not feasible for nitrogen supply in the soil due to its composition that leads it to compete for nitrogen with the soil microorganisms. The residues of *Canavalia brasiliensis* and *Mucuna cinereum* had similar behaviors being two residues indicated for the forage of the soil and nitrogen supply to the environment.

Keywords: Organic matter; Nitrate; Ammonium; Plant residue.

LISTA DE ABREVIações

MO – Matéria Orgânica

MOS – Matéria Orgânica no Solo

N – Nitrogênio

C – Carbono

NH_4^+ - Amônio

NH_3 – Amônia

NO_3^- - Nitrato

NO_2^- - Nitrito

ASO – Área de Solos

IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná

ADN – Ácido desoxirribonucleico

ARN – Ácido ribonucleico

ATP – Adenosina trifosfato

ADP – Adenosina difosfato

NAD – Nicotinamida adenina dinucleotideo

NADP – Nicotinamida adenina dinucleotideo fosfato

FBN – Fixação biológica do nitrogênio

NO – Óxido nítrico

N_2O – Óxido nitroso

N_2 – Gás nitrogênio

CTC – Capacidade de troca catiônica

ha – Hectare

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo do Nitrogênio.....	25
Figura 2 – Transição eletrônica UV-Vis.....	34
Figura 3 – Representação esquemática das amostras de solo com a inserção dos resíduos vegetais: <i>Mucuna cinereum</i> , <i>Canavalia brasiliensis</i> e palha de milho pós colheita.....	38
Figura 4 – Incubação dos solos.....	38
Figura 5 – Casa de vegetação 1 – IAPAR.....	39
Figura 6 – Procedimentos para análise química.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Concentração de macronutrientes, g kg ⁻¹ , nos tecidos vegetais de <i>Mucuna Cinereum</i> , <i>Canavalia brasilienses</i> e palha de milho.....	36
Tabela 2 – Quantidade de macronutrientes, g kg ⁻¹ nas porcentagens de 1,0%, 2,0% e 5,0% m/m aos solos.....	37
Tabela 3 – Reagentes necessários para a experimentação.....	39
Tabela 4 – Valores de pH no solo da mata durante o tempo de incubação, com a adição de 1,0%, 2,0% e 5,0% m/m dos resíduos vegetais.....	43
Tabela 5 – Valores de pH no solo cultivado durante o tempo de incubação, com a adição de 1,0%, 2,0% e 5,0% m/m dos resíduos vegetais.....	45
Tabela 6 – Concentração de amônio durante o tempo de incubação no solo da mata, pH 4,3.....	46
Tabela 7 – Concentração de amônio durante o tempo de incubação no solo cultivado, pH 6,3.....	48
Tabela 8 – Concentração de nitrogênio total mineral (NH ₄ ⁺ + NO ₃ ⁻) durante o tempo de incubação no solo da mata, pH 4,3.....	49
Tabela 9 – Concentração de nitrogênio total mineral durante o tempo de incubação no solo cultivado, pH 6,3.....	51

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. OBJETIVOS.....	20
2.1 Objetivo geral.....	20
2.2 Objetivos específicos.....	20
3. JUSTIFICATIVA.....	21
4. REFERENCIAL TEÓRICO.....	23
4.1 Funções do macronutriente N.....	23
4.2 Dinâmica do nitrogênio na planta.....	23
4.2.1 Ciclo do nitrogênio.....	24
4.2.1.1 Fixação.....	25
4.2.1.2 Amonificação/Mineralização.....	26
4.2.1.3 Imobilização.....	28
4.2.1.4 Nitrificação.....	29
4.2.1.5 Desnitrificação.....	30
4.2.2 Acidez do solo.....	31
4.3 Adubação verde.....	32
4.4 Determinação do N.....	33
4.4.1 Técnicas colorimétricas.....	33
4.4.2 Espectroscopia de absorção molecular na região do ultravioleta-visível (UV-Vis).....	33
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
5.1 Materiais e reagentes.....	35
5.2 Procedimentos experimental.....	38
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
6.1 Valores de pH dos solos pelo tempo de incubação.....	43
6.2 Concentração de amônio nos solos.....	46
6.3 Análise do nitrogênio total mineral.....	49
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
REFERENCIAS.....	55

APÊNDICES.....	58
----------------	----

1. INTRODUÇÃO

A fertilidade do solo é basicamente a capacidade de ceder nutrientes para as plantas. Para que isso seja possível é necessário que os macro e micronutrientes para crescimento vegetal estejam em quantidades adequadas no solo. Alguns dos nutrientes são provenientes de matéria orgânica presente no solo, sendo a matéria orgânica (MO) considerada como todo o resíduo vegetal, esterco de animais e microrganismos em diferentes estados de decomposição e é por meio desse processo que há a liberação de alguns nutrientes para o solo. Sendo um exemplo os carboidratos e as proteínas que são os mais importantes, tanto um como o outro possuem uma decomposição rápida, contribuindo para os nutrientes do solo, como nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S). Há também a lignina que faz parte do húmus, e os lipídeos que contribuem com o enxofre (S) e fósforo (P) para o solo (GUCHERT, ROUSSENQ NETO, 2007, p. 23 apud AGUIAR, 2011).

Para compreender o efeito da matéria orgânica no solo (MOS), deve-se lembrar de que o solo funciona como um organismo vivo, em um grama de solo vive uma comunidade biológica de aproximadamente 10.000 espécies, e estes organismos necessitam de alimentos para sobreviver, principalmente carbono (C) e nitrogênio (N) que estão presentes em abundância em resíduos vegetais (MÜLLER, PAULUS, BARCELLOS, 2000).

Devido as vantagens associadas a presença de MOS, a adição de resíduos vegetais como forragem do solo mostra-se uma alternativa para a melhoria da fertilidade do solo, repondo alguns dos nutrientes essenciais para o desenvolvimento de culturas, além disso é uma opção natural e economicamente viável (AGROLINK, 2017).

O nitrogênio (N) é um elemento essencial para a fertilidade do solo, atuando em todas as fases, crescimento, floração e frutificação. As plantas absorvem o N em suas formas amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) (GIRACCA, NUNES, 2016). Entretanto as formas iônicas do N não são encontradas disponíveis na natureza.

Por outro lado, o gás nitrogênio (N_2) é abundantemente encontrado na atmosfera com cerca de 78% em sua composição, entretanto devido a sua baixa reatividade não é possível obtê-lo diretamente de sua fonte primária, sendo necessária uma transformação do N_2 por meio de algas e bactérias que possuem enzimas capazes

de induzir o gás nitrogênio do ar a reagir, forçando o processo no qual o N_2 presente na atmosfera é convertido em suas formas iônicas, de modo que possa ser utilizado pelas plantas. Segundo Cassini (2006) geralmente as formas disponíveis ou “combinadas” de nitrogênio para a nutrição dos seres vivos incluem as combinações amoniacais (NH_4^+), nítricas (NO_3^-) ou orgânicas ($R-NH_2$) que são metabolizadas visando a construção de biomassa.

O processo onde o nitrogênio circula pelas plantas e pelo solo sob a ação de microrganismos é conhecido como ciclo do nitrogênio.

Por ser o principal elemento que compõe as proteínas encontradas nas plantas, sua deficiência causa à inibição do crescimento e desenvolvimento das mesmas, além de diminuir a quantidade de clorofila nas folhas, causando o amarelamento e dando os primeiros sinais de ausência de nitrogênio no solo para consumo da planta. Para minimizar a deficiência, é adicionada a MOS, sendo esta a principal fonte de N para as plantas (MOSAIC FERTILIZANTES, 2015).

A MOS é adicionada como forragem do solo, comumente entre plantios, para que possa ser decomposta e que haja a liberação dos nutrientes necessários para a próxima plantação. Essa técnica é conhecida como adubação verde, sendo que esta prática consiste em adicionar plantas, em sua maioria leguminosa, na superfície do solo com a intenção de enriquecê-lo nutricionalmente, principalmente os teores de N do solo (CULLER, 2017)

A maior parte do N disponível às culturas provém da mineralização/imobilização do N dos resíduos de culturas e do N da MOS (SAMPAIO E SALCEDO, 1993).

Sabendo disso, serão adicionados resíduos de *Mucuna cinereum*, *Canavalia brasiliensis* e palha de milho pós colheita, ao solo LATOSSOLO VERMELHO distroférico que se caracteriza por ser um solo mineral e homogêneo, derivam de rochas básicas, contém teores de Fe_2O_3 , MnO e TiO_2 , conhecidos anteriormente como Latossolos roxos por sua cor característica. São muito profundos, argilosos ou muito argilosos e de boas condições físicas, coletados no Instituto Agrônomo do Paraná, na cidade de Londrina.

A *Mucuna cinereum* que também é conhecida como Mucuna-cinza, é uma planta da família das leguminosas, tem um ciclo de crescimento de 120 a 150 dias e

tem o hábito de crescimento de trepadora, geralmente chega a uma altura de 0,5 a 1,0 m, é uma planta rica em nitrogênio, chegando a atingir de 180 a 220 kg/ha. Seu período de crescimento ideal é entre outubro a novembro, entretanto é possível que germine de setembro a março. Além disso, é uma planta barata e que exige pouca fertilidade do solo para seu crescimento, tornando-a uma ótima opção para adubação verde (COSTA, 1992).

A *Canavalia brasilienses* pertence a família das leguminosas e no Brasil é conhecida como Feijão bravo do Ceará, tem de 12 a 15 cm de comprimento e 8 a 10 cm de largura, é uma planta que se estabelece rapidamente. A *Canavalia brasilienses* é muito utilizada como adubo verde, devido à decomposição média e às taxas de mineralização de N da biomassa, a liberação de nutrientes se sincroniza bem com a demanda de nutrientes de culturas anuais (COBO et al., 2002). As informações sobre essa planta são escassas, no entanto é uma espécie de alto potencial agrônômico (SCHLOEN, PETERS, SCHULTZE-KRAFT, 2012).

Um estudo realizado por Wisniewski e Holz (1997) em um experimento, onde observaram uma taxa de decomposição média da palha de milho, apresentou resultados de que esse resíduo tem decomposição lenta devido ao seu alto teor de carbono.

Neste trabalho pretende-se avaliar a variação das formas nitrogenadas no solo durante um tempo pré-determinado de 7 meses de incubação dos solos, buscando determinar qual o resíduo vegetal mais viável em termos de aumento da concentração de N no solo para a fertilidade do mesmo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar as alterações químicas como as concentrações dos íons NO_3^- e NH_4^+ e os valores de pH nos solos coletados do Instituto Agronômico do Paraná na cidade de Londrina-PR através da adição de resíduos vegetais como *Canavalia brasilienses*, *Mucuna cinerarum* e palha de milho pós colheita durante 7 meses.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a variação entre a mineralização e imobilização do nitrogênio em solos ácidos de LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico com adição de resíduos vegetais em função do tempo de incubação;
- Analisar as concentrações de íons NO_3^- e NH_4^+ , utilizando método colorimétrico;
- Comparar a eficácia da adição dos resíduos vegetais *Canavalia brasilienses*, *Mucuna cinerarum* e palha de milho pós colheita no solo para o aumento do macronutriente N.

3. JUSTIFICATIVA

A disponibilidade de nutrientes para as plantas é muito influenciada pelas condições do solo onde a mesma será cultivada. É comum em solos que recebem plantios subsequentes que os nutrientes diminuam em uma grande escala devido a falta de MOS disponível, reduzindo a fertilidade natural do solo, prejudicando desse modo o crescimento da próxima safra.

Há várias formas de promover a recuperação de nitrogênio e de outros nutrientes no solo, sendo a forragem dos solos com resíduos vegetais uma opção que não degrada o meio ambiente de nenhuma forma. Embora a decomposição dos resíduos vegetais seja mais lenta esse é um recurso natural, o que torna o uso de resíduos mais viáveis financeiramente. O resíduo vegetal é a opção mais barata no mercado e através da decomposição das mesmas há a liberação dos nutrientes necessários para a fertilidade do solo.

Os resíduos vegetais são restos de plantas que são usadas como forragem dos solos, sendo assim há diversos tipos de resíduos, os mais usados são os ricos em N, e por vezes ricos em C, desse modo deve-se avaliar qual o mais eficiente para o problema apresentado no solo.

Foram escolhidos três resíduos vegetais para verificar qual espécie apresenta melhor potencial de recuperação de N do solo, a *Mucuna Cinereum*, que tem uma velocidade de decomposição intermediária e um teor elevado de N em comparação ao teor de C. A *Canavalia brasiliensis*, possui uma velocidade de decomposição mais acelerada e teor de N elevado e a palha de milho pós-colheita que tem a velocidade de decomposição lenta, teor de N baixo e o de C elevado. Esses resíduos foram escolhidos devido as diferentes propriedades entre os três. Além disso, o custo dos resíduos escolhidos é acessível e são fáceis de encontrar e cultivar.

A preocupação com o teor de N é devido a grande necessidade que a planta tem desse macronutriente, pois ele é fundamental para o metabolismo das plantas e um dos elementos mais limitantes no desenvolvimento das mesmas. Embora grande quantidade desse elemento esteja presente nos solos, durante os períodos de colheita há a carência do mesmo, não sendo possível manter o crescimento saudável da planta (MELLO, 1983).

Nos solos o N disponível é, geralmente, o fator limitante em termos de produção, nesse sentido torna-se necessário a adubação para que esse baixo teor possa ser compensado (LOPES, 1998).

A adubação orgânica, também conhecida como adubação verde, melhora significativamente as condições físico-químicas do solo, e dentre essas melhorias o adubo verde restaura os níveis de N disponíveis e supri a necessidade de N do solo para quando houver o plantio (EMBRAPA, 2005).

Quando o resíduo vegetal se decompõe há diversas reações ocorrendo ao mesmo tempo, sabendo disso é importante avaliar se o pH do solo interfere na decomposição dos resíduos e como o pH influencia na dinâmica do nitrogênio (SILVA, SOUZA, 1998).

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 FUNÇÕES DO MACRONUTRIENTE N

Para o crescimento e desenvolvimento, as plantas necessitam de diversos minerais, os quais são absorvidos do solo pelas raízes (GAZZONI, 2017). Esses minerais são subdivididos em macronutrientes (primários e secundários) e micronutrientes, essa divisão se deve a necessidade nutricional da planta (AGROLINK, 2016).

Os macronutrientes primários são exigidos em grande quantidade, sendo um deles o N. Os macronutrientes secundários são assim nomeados porque são requeridos em menor quantidade, e por fim os micronutrientes são os que são exigidos em baixas quantidades, entretanto ainda são extremamente importantes (AGRIPOINT CONSULTORIA LDTA, 2012).

A quase totalidade do N está presente nas plantas fazendo parte da estrutura dos aminoácidos e das proteínas. As plantas são capazes de produzir todos os aminoácidos necessários. Uma pequena porcentagem do N, porém não menos importante, integra as moléculas de clorofila, dos nucleotídeos, Adenosina trifosfato (ATP), Adenosina difosfato (ADP), Nicotinamida-adenina-dinucleotídeo (NAD) e Nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato (NADP), dos ácidos nucleicos Ácido desoxirribonucleico (ADN) e Ácido ribonucleico (ARN), das purinas, pirimidinas, vitaminas e das coenzimas (ERNANI, 2003).

4.2 DINÂMICA DO NITROGÊNIO NA PLANTA

A atmosfera terrestre fornece C (CO_2), H (H_2O) e O (CO_2 e H_2O) que as plantas necessitam para o seu desenvolvimento. A maioria dos demais elementos, como o Cálcio (Ca), o Potássio (K), o Magnésio (Mg), o Ferro (Fe), o Cobre (Cu) e diversos outros são encontrados pela desintegração das rochas, com exceção de um único elemento, o nitrogênio (GALLO, BASSO, 2012).

Segundo Machado (2012) embora o N represente cerca de 78% da atmosfera terrestre e também esteja presente nas rochas da superfície terrestre, em ambos os casos o elemento se encontra em sua forma primária, ou seja, em forma de gás nitrogênio (N_2), uma molécula extremamente inerte e estável devido a sua tripla ligação.

Segundo Lopes (1998), cada hectare da superfície da Terra é coberto por cerca de 84.000 toneladas de N₂. Entretanto a maioria dos seres vivos é incapaz de utilizar o N em sua forma primária, sendo necessário que o mesmo sofra algumas transformações para que possa ser utilizado. Os únicos organismos que possuem capacidade altamente especializada de assimilar o nitrogênio da atmosfera e convertê-lo em uma forma que pode ser usada pelas células são algumas espécies de bactérias e algas azuis (VIRTUOUS, 2013).

Essa indisponibilidade do N atmosférico ocorre porque é uma molécula com tripla ligação entre dois átomos, tornando a molécula pouco reativa. Segundo Lopes (1998) a reação de quebra da molécula de nitrogênio atmosférico acontece em condições especiais, como aumento de temperatura e pressão, e a reação ocorre da seguinte forma:



A quebra dessa molécula é também conhecida como fixação do nitrogênio no solo, que pode se dar de três formas diferentes, sendo estas descritas mais a frente.

A insuficiência de nitrogênio utilizável constitui muitas vezes o principal fator limitante do crescimento vegetal. O nitrogênio é o responsável pela promoção da clorofila, que é um pigmento verde encontrado nas folhas e que captura a energia do sol sendo um importante fator para que ocorra a fotossíntese (GALLO, BASSO, 2012).

O nitrogênio, assim como o ferro e o enxofre, participa de um ciclo natural, no qual este sofre transformações químicas, modificando suas estruturas em cada uma das etapas, servindo assim de base para que ocorram outras reações, tornando-se disponível para os organismos.

O processo pelo qual o N circula através das plantas e do solo pela ação de organismos vivos é conhecido como Ciclo do Nitrogênio.

4.2.1 CICLO DO NITROGÊNIO

O ciclo do nitrogênio é o resultado de reações sequenciais de oxi-redução que fornecem energia para microrganismos que dependem dessas reações (SOUZA FILHO, 2008).

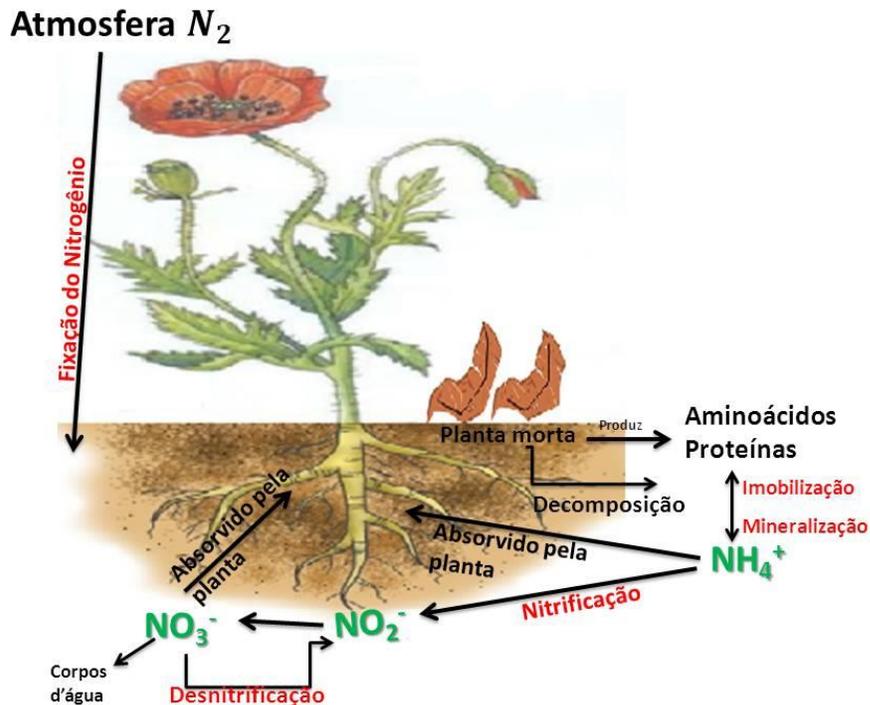
Segundo Mello et al 1983, o ciclo do nitrogênio se dá, provavelmente, por meio das seguintes etapas:

N-orgânico → N-amínico → N-amoniaco → N-nitrito → N-nitrato

A maneira mais simples de exemplificar como ocorre o ciclo do nitrogênio, também conhecido como “ciclo do azoto” é pela representação esquemática (Figura 1).

Segundo Ernani (2003) o macronutriente N é complexo de ser analisado devido ao grande número de reações que ocorrem com esse elemento no solo e a rapidez de algumas dessas transformações, tais como: fixação, amonificação, imobilização, nitrificação e desnitrificação.

Figura 1: Ciclo do Nitrogênio.



Fonte: Arquivo próprio.

4.2.1.1 Fixação

O N realiza uma dinâmica no solo ao qual ele é constantemente retirado e posteriormente repostado no solo. O processo de reabastecimento do N é conhecido como “fixação do nitrogênio”, um processo indispensável para que o elemento possa ser

absorvido pela planta, que pode ser realizado de três formas: fixação industrial, fixação por descargas elétricas e fixação biológica (GALLO, BASSO, 2012).

Para este trabalho, enfatiza-se o processo da fixação biológica do nitrogênio (FBN), sendo que esta pode ser simbiótica ou não simbiótica.

A FBN é o processo pelo qual o N_2 é incorporado em compostos orgânicos nitrogenados, podendo ser efetuada satisfatoriamente por algumas bactérias e algas azuis (ROSA, MESSIAS, AMBROZINI, 2003).

A fixação simbiótica do nitrogênio refere-se a microrganismos que fixam o nitrogênio enquanto crescem em associação a sua planta hospedeira, processo esse benéfico a ambas as partes. Das várias classes de organismos fixadores de nitrogênio, as bactérias simbióticas são as mais importantes em termos de quantidades totais de nitrogênio fixado (VINHAL-FREITAS, RODRIGUES, 2010). Segundo Souza Filho (2008) o exemplo mais amplamente conhecido é a associação entre a bactéria *Rhizobium* e as raízes das leguminosas angiospermas da família *Facaceae* ou *Leguminosae*, tais como soja, trevo, ervilha e feijão.

A fixação não simbiótica do nitrogênio é levada a efeito por bactérias de vida livre no solo. As mais comuns são dos gêneros *Azotobacter* que são bacterias aeróbicas, ou seja, necessitam de oxigênio para sobreviver, e *Clostridium* que são bacterias anaeróbicas, ou seja, não necessitam de oxigênio e luz, usam a quimiossíntese para sobrevivência, ambas são bacterias saprófitas (seres vivos sem clorofila que obtêm os seus nutrientes a partir de tecidos, mortos e/ou em decomposição, de plantas ou animais) comuns encontradas no solo (LOPES, 1998).

4.2.1.2 Amonificação/Mineralização

Mineralização consiste na transformação do N orgânico que está fazendo parte da estrutura dos materiais de origem animal ou vegetal, para a forma mineral. Essa reação é efetuada pelos microrganismos, principalmente fungos e bactérias, e ocorre em duas etapas (aminização e amonificação), ambas muito influenciadas por vários fatores ambientais (temperatura, umidade, radiação solar) e de solo (pH, Al, Mn, salinidade) (ERNANI, 2003). Dessa forma a mineralização constitui o primeiro e mais

importante passo para a sua disponibilidade para as plantas e microrganismos do solo (CASSINI, 2006).

O solo contém uma proporção relativamente grande de nitrogênio não disponível (orgânico), cerca de 97-98% do nitrogênio total do solo e uma pequena proporção de nitrogênio disponível (inorgânico), de 2-3% do nitrogênio total do solo. Conseqüentemente, o processo pelo qual as formas orgânicas são convertidas em formas disponíveis é importante para o crescimento das plantas (LOPES, 1998).

As matérias orgânicas em decomposição (plantas e/ou animais) encontradas no solo disponibilizam grande quantidade de nitrogênio, entretanto estes estão sob formas mais complexas de compostos orgânicos, como proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos e nucleotídeos.

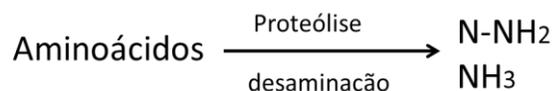
Esses compostos orgânicos são geralmente decompostos por organismos que vivem nos solos. As bactérias saprófitas e várias espécies de fungos são os principais responsáveis pela decomposição de matéria morta encontrada nos solos. Estes microrganismos utilizam as proteínas e os aminoácidos como fonte para as suas próprias proteínas e liberam o excesso de nitrogênio sob a forma de íon amônio (NH_4^+) (GALLO, BASSO, 2012).

Segundo CASSINI (2006), uma das principais fontes de nitrogênio orgânico no solo são as proteínas, liberadas após a decomposição do conteúdo celular da biomassa microbiana vegetal.

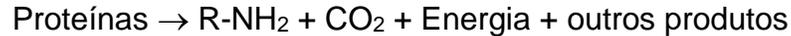
Esse processo é realizado em várias etapas. A primeira etapa é a degradação enzimática de proteínas por meio de proteases, que separam a cadeia proteica em peptídeos e a seguir esses peptídeos são consumidos por peptidases que liberam diversos aminoácidos (CASSINI, 2006).



Posteriormente os aminoácidos sofrem um processo de desaminação e liberam o grupo N-NH_2 e formação de NH_3 .



Dando ênfase ao processo de reações, Ernani (2003) diz que no processo de mineralização ocorre inicialmente a decomposição de proteínas, havendo a liberação de aminas e aminoácidos, conforme a representação esquemática:



A seguir ocorre o processo de amonificação, onde existe o consumo de átomos de H:



É importante frisar que todo o nitrogênio orgânico (N_{org}) está na forma de N-NH_x (amina, amida, imidas) e por esta razão o primeiro produto de sua mineralização é sempre o N-amoniaco (NH_3 ou NH_4^+) (CASSINI, 2006).

O nitrogênio pode ser fornecido sob a forma de gás amoníaco (NH_3), mas esse processo ocorre geralmente durante a decomposição de grandes quantidades de materiais ricos em N, como numa grande porção de adubo ou fertilizante. Em geral, amônia produzida por amonificação é dissolvida na água do solo, onde se combina a prótons para formar o íon amônio (GALLO, BASSO, 2012)

O nitrogênio também pode ser convertido da forma inorgânica para a forma orgânica. Esse processo é chamado de imobilização.



4.2.1.3 Imobilização

Quando há a conversão de nitrogênio inorgânico em nitrogênio orgânico (absorção pelo microrganismo), uma alta proporção de nitrogênio presente no solo fica indisponível para as plantas.

Segundo Gallo e Basso (2012) a imobilização ocorre em geral quando o solo é rico em C, sendo assim os microrganismos que absorvem o N, utilizam todo o N-inorgânico disponível presente no solo, para que possa suprir suas necessidades na formação de tecidos orgânicos quando em presença de grande quantidade de C no solo, deste modo os microrganismos passam a competir pelo N com a planta.

Dessa forma, à medida que os microrganismos decompõem vigorosamente os suprimentos de energia frescos (resíduos vegetais, por exemplo), eles necessitam de N

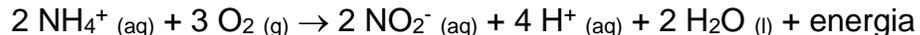
para “construir” proteínas para os tecidos do corpo. A menos que os resíduos sejam relativamente ricos em N, os organismos retiram os compostos nitrogenados dos solos para obter o que necessitam. Dessa forma o N mineral do solo é convertido em N orgânico nas proteínas dos micróbios (LOPES, 1998).

4.2.1.4 Nitrificação

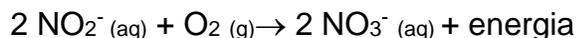
A nitrificação se processa na superfície das partículas do solo e apenas os íons amoniacais trocáveis participam na reação, esse processo de nitrificação é basicamente a oxidação do amoníaco. Há diversas espécies de bactérias, que são comumente encontradas no solo, capazes de oxidar a amônia e o íon amônio, produzindo energia que quando liberada é utilizada por essas bactérias para a redução do dióxido de carbono (CO₂). Tais organismos são conhecidos como quimiossintetizantes, ou seja, são seres autotróficos, que retiram a energia necessária para sua sobrevivência a partir de reações químicas (GALLO, BASSO, 2012).

Segundo Ernani (2003) o processo de nitrificação se realiza em duas fases:

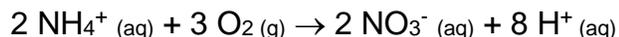
Na primeira fase as bactérias quimiossintéticas *Nitrosomonas* e *Nitrosococcus* oxidam por meio de enzimas o íon NH₄⁺ formando nitrito (NO₂⁻).



O NO₂⁻ é tóxico para as plantas superiores, mas raramente se acumula no solo. Na segunda fase outro gênero de bactéria, o *Nitrobacter*, oxida o nitrito formando nitrato (NO₃⁻).



A reação global da nitrificação pode ser descrita como:



O NO₃⁻ formado pode ser absorvido por plantas superiores e microrganismos, sendo este fundamental para o crescimento da planta por razões básicas:

- é prontamente disponível para as culturas e microrganismos;
- é extremamente móvel no solo, movimentam-se livremente com a água do solo.

MELLO et al (1983) destaca que:

- A nitrificação exige a presença de oxigênio molecular, portanto se desenvolve melhor em solos bem arejados e, principalmente, nas camadas superficiais.
- Durante a nitrificação há liberação de íons H^+ , que resulta na acidez do solo.

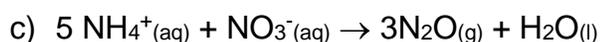
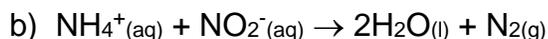
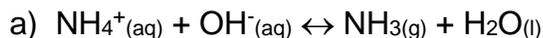
O NO_3^- pode ser perdido por um processo chamado desnitrificação.

4.2.1.5 Desnitrificação

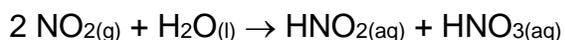
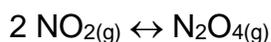
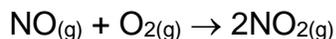
Durante o ciclo do nitrogênio observa-se que há uma perda do mesmo para a atmosfera, no sentido de que o elemento se torna inutilizável pela planta.

A desnitrificação consiste na transformação do N nítrico ($N-NO_3^-$) em formas gasosas que se perdem para a atmosfera. Consiste na redução microbiana do nitrato (NO_3^-) às formas intermediárias de N ($NO_3^- \rightarrow NO_2^-$) e então às formas gasosas óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N_2O) e gás nitrogênio (N_2) que são comumente perdidas para a atmosfera. A redução do nitrato a matéria orgânica é oxidada para a obtenção de energia pelos microrganismos. Enzimas específicas participam do processo e suas atividades podem ser bastante variáveis em função dos tipos de solos (EMBRAPA, 2008).

A desnitrificação pode ocorrer em solos anaeróbicos e aeróbicos. As reações que levam o solo aeróbico ao fenômeno de desnitrificação são as seguintes:



Em pH entre 4 e 5 a reação de desnitrificação é:



Além de diversas outras reações que podem causar o fenômeno de desnitrificação no solo (KIELING, 2004).

Cinco condições do solo parecem ter maiores influências no processo de nitrificação e desnitrificação, sendo eles: pH do solo; umidade; temperatura; aeração e resíduos de culturas.

4.2.2 ACIDEZ DO SOLO

A acidez de um solo caracteriza-se pelo seu valor de pH e seu caráter ácido aumenta na medida que o pH do solo diminui.

As características químicas do solo estão relacionadas com a natureza dos minerais do solo e a disponibilidade de nutrientes presentes no solo, subsídio esse fundamental para a recomendação da dose de adubação, assim como as transformações a que os nutrientes adicionados ao solo estarão sujeitos (SILVA, SOUZA, 1998).

O pH, que é um índice que indica o grau de acidez do solo, é de extrema importância, pois determina a disponibilidade dos nutrientes contidos no solo ou a ele adicionados e também assimilação dos nutrientes pelas plantas. Considerando-se que a maioria dos solos brasileiros apresenta acidez média a alta, a sua correção, ou seja, a calagem é um fator decisivo na eficiência das adubações (ALCARDE et al., 1991 apud SILVA E SOUZA, 1998).

De modo geral, as maiores limitações dos solos ácidos podem ser agrupadas em quatro vertentes:

- Há a presença de alto teor de H^+ e Al^{3+} (íon tóxico para a planta) ativos na solução do solo;
- Baixa capacidade de troca catiônica (CTC);
- Alta capacidade da fase sólida em absorver o ânion;
- Baixa atividade orgânica e biológica na fração do solo.

A eficiência do uso de nutrientes nestes solos será sempre dependente da parcial ou completa solução destas limitações, envolvendo ambiente e manejo de solo e planta (GOEDERT et al., 1997 apud SILVA E SOUZA, 1998). A maior parte dos nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas (K, Ca, Mg, S, B, P e N) fica menos disponível no solo em razão dos valores baixos de pH.

O aumento do nível de H^+ em atividade na solução do solo é a primeira propriedade que afetará o equilíbrio solo/planta.

O macronutriente nitrogênio é mais bem aproveitado pela planta com pH acima de 5,5. A disponibilidade máxima, ou seja, o pH ótimo do solo, verifica-se na faixa de pH do solo entre 6,0 e 6,5 para depois diminuir (BRAGA, 2012).

A decomposição da MO pelos microrganismos afetará o valor de pH do solo, pois em razão das reações que ocorrem, principalmente no ciclo do N, ocorre a liberação e/ou consumo de íons H^+ , por meio das reações de amonificação e nitrificação respectivamente.

Em suma, é necessário que ocorra a adição de quantidades controladas de compostos nitrogenados no solo, para que não afete a acidez do solo e auxilie no crescimento vegetal.

4.3 ADUBAÇÃO VERDE

A adubação verde é utilizada em prol da melhora das condições físico-químicas e biológicas do solo. Segundo Portal Agronegócio (2001) a adubação verde é um processo natural, que visa a proteção superficial do solo e a melhoria das características químicas. É uma técnica que consiste no cultivo de plantas que posteriormente serão fragmentadas e servirão como cobertura do solo até serem decompostas por completo.

A adubação verde traz muitos efeitos benéficos como: aumentar o teor de matéria orgânica, desde que utilizada continuamente; diminuir índices de erosão, protegendo o solo de chuvas fortes; aumenta a retenção de água no solo; recupera solos degradados e adensados; diminui a perda de nutrientes, como o nitrogênio; reduz a quantidade de plantas invasoras; favorece a proliferação de minhocas no solo e interrompe o ciclo e reduz o ataque de pragas e doenças (LIMA, MENEZES, 2010).

4.4 DETERMINAÇÃO DO NITROGÊNIO

4.4.1 Técnicas colorimétricas

A interação da luz com diferentes compostos oferece muitas possibilidades para a execução de medidas qualitativas e quantitativas. Muitas reações químicas geram cores vivas, que, além de fascinantes geralmente oferecem informações suficientes para realizar uma análise (HIGSON, 2009). Sabe-se que a visão humana é extremamente limitada, podendo visualizar no espectro somente no intervalo de 400 a 780 nm, e ainda assim deve-se considerar que mudanças sutis na coloração passam despercebidas pelos olhos humanos, logo a análise visual de compostos se torna inviável. Sendo assim são utilizados diversos tipos de instrumentos para estudar o modo como ocorrerá a interação da luz com a amostra. O uso de instrumentação para fazer as estimativas mais acuradas sobre a intensidade da cor de uma amostra constitui a base das medidas colorimétricas (HIGSON, 2009).

A colorimetria pode ser conceituada como um procedimento analítico a qual se determina a concentração de espécies químicas mediante a absorção de energia radiante (luz). É uma técnica analítica muito utilizada para determinar a concentração de compostos coloridos em solução.

Segundo Nardo et al (2012) o princípio colorimétrico de análise de N inicia-se com a digestão das amostras (moagem, pesagem, digestão), se trata de uma metodologia espectrofotométrica e gera baixo volume de resíduos químicos. O método foi testado no laboratório da Embrapa e substitui o método de N-total de Kjeldahl.

4.4.2 Espectroscopia de absorção molecular na região do ultravioleta-visível (UV-Vis)

A espectrofotometria estuda a propriedade que inúmeros compostos químicos possuem de absorver radiações eletromagnéticas. Como esta absorção é específica para um determinado composto, pode-se obter rapidamente dados que poderão auxiliar no aspecto de sua identificação. Com base em leis simples que regem este fenômeno da absorção, pode-se também obter o valor da concentração de soluções contendo tais compostos principalmente os de interesse biológico ou químico (SASSAKI, 2001).

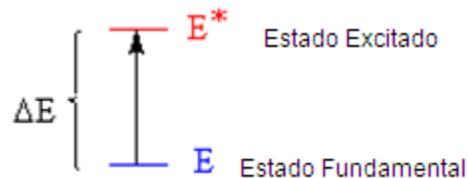
A espectroscopia de absorção é um dos métodos analíticos mais utilizados na área de química analítica quantitativa para a determinação de diferentes analitos.

A espectroscopia de absorção molecular na região do ultravioleta-visível (UV-Vis) envolve a absorção de radiação eletromagnética por átomos e moléculas na faixa de comprimento de onda (λ) de 190 a 800 nm, causando a transição eletrônica do estado fundamental para estados excitados (MANSUR, 2017).

O UV-Vis mede a extensão de luz ao incidir na substância em estudo. As moléculas que contêm elétrons π ou elétrons não ligantes podem absorver a energia sob a forma de luz ultravioleta ou visível para excitar esses elétrons a orbitais moleculares antiligantes superiores, quanto mais facilmente excitarem os elétrons, maior o comprimento de onda onde a luz pode absorver (SARAN, 2012).

As radiações UV/Vis possuem a propriedade de sofrerem absorção por algumas moléculas devido ao fenômeno da excitação eletrônica. A excitação dos elétrons se dá através do salto quântico entre os níveis de energia bem definidos, de modo que cada elétron só absorve a energia quando esta tem o valor específico para promover sua passagem entre os níveis de energia (SARAN, 2012).

Figura 2: Transição eletrônica UV-Vis



Fonte: Arquivo próprio

Sua aplicabilidade é principalmente em áreas ambientais como solos, água, plantas, etc.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Materiais e Reagentes

Na análise de pH dos solos antes da incubação observou-se que o solo da mata tem um pH mais ácido, 4,3, e do solo cultivado tem um pH menos ácido, 6,3, ambos coletados no Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) no município de Londrina - Paraná, na profundidade de 0 a 20 cm, secados na sombra e passados na peneira de 2,0 mm

Antes da incubação dos solos foram feitas as devidas análises dos resíduos vegetais que seriam adicionados ao solo. Na tabela 1 é possível analisar os valores de carbono, nitrogênio e íons metálicos aplicados ao solo através da adição de resíduos vegetais.

Foram pesadas 30 amostras de 2,0 kg do solo da mata e 30 amostras de 2,0 kg do solo cultivado, em sacos plásticos de polietileno, de tamanho 45x25 cm, por ser atóxico, inodoro e incolor, além de ser resistente a rasgos e perfurações. Posteriormente adicionaram-se em triplicatas os tratamentos vegetais de *Mucuna cinereum*; *Canavalia brasilienses* e Palha de milho pós-colheita, todos coletados no IAPAR, em quantidades fixas (1,0 %; 2,0 %; 5,0 % (m/m)) de cada tratamento de forma individual em cada amostra dos solos, como representado na figura 3, posteriormente foram umidificados e incubados (figura 4).

Tabela 1: Concentração de macronutrientes, g/kg, nos tecido vegetais de *Mucuna cinereum*, *Canavalia brasiliensis* e palha de milho utilizados.

Tecido Vegetal	<i>Mucuna Cinereum</i>	<i>Canavalia brasiliensis</i>	Palha de milho
N	32,89	36,76	18,31
C	456	414	472
K	9,64	2,13	27,65
Ca	7,97	2,39	11,97
Mg	1,08	0,45	2,68

Os macronutrientes potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) dos resíduos vegetais se ionizaram quando em contato com a água de umidificação do solo ao qual foi inserido. Quando adicionados ao solo os macronutrientes antes pertencentes aos resíduos vegetais sofreram uma reação de substituição no qual o íon que estiver ligado ao carboxílico será substituído por um hidrogênio da água liberando dessa forma íons OH^- , que posteriormente reagiram com os íons H^+ presentes no solo, alterando o valor de pH, ou seja, essa reação retirou íons H^+ do meio.

Embora o foco do trabalho não seja a análise dos elementos K, Ca e Mg estes são para compreender o comportamento do pH do solo, sendo o pH um fator relevante diante da dinâmica do nitrogênio.

Os valores obtidos se referem a um quilograma de cada resíduo, entretanto foram adicionados 1,0; 2,0 e 5,0 g de cada resíduo nos solos, dessa forma, supõem-se de que os valores reais inseridos no solo foram os descritos na Tabela 2.

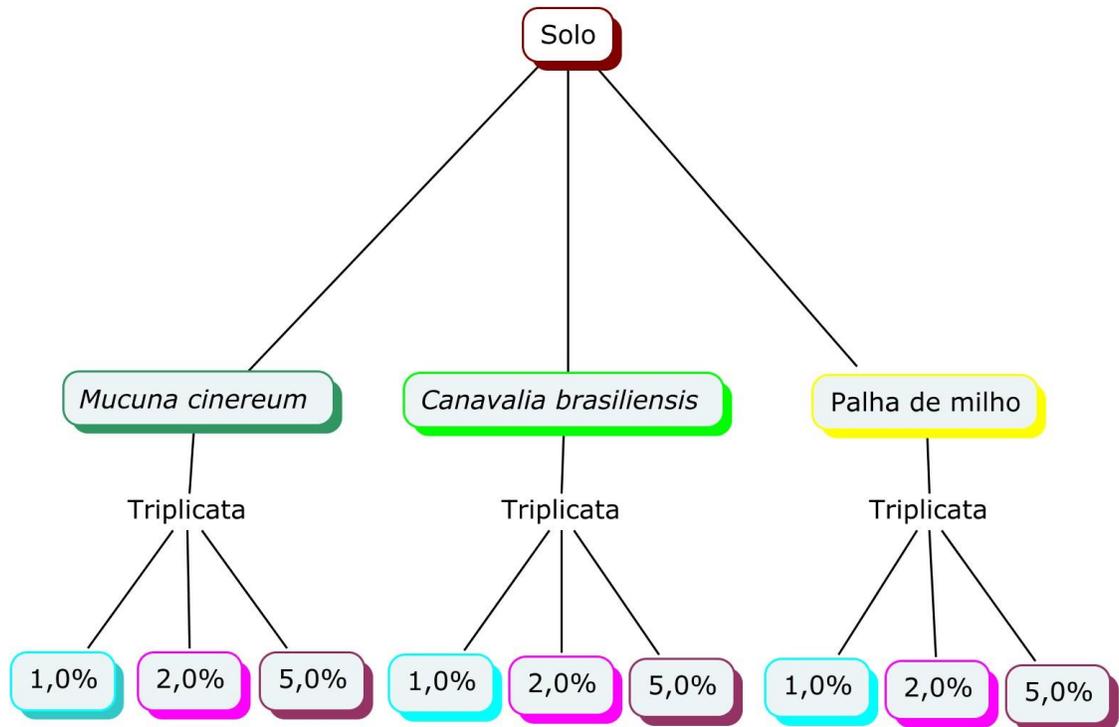
Tabela 2: Quantidades de macronutrientes, g kg⁻¹, pela adição de tecidos vegetais, nas porcentagens de 1,0%, 2,0% e 5,0%, m/m aos solos.

Tecido	<i>Mucuna cinereum</i>			<i>Canavalia brasiliensis</i>			Palha de milho		
	1,0%	2,0%	5,0%	1,0%	2,0%	5,0%	1,0%	2,0%	5,0%
C	4,56	9,12	22,8	4,14	8,28	20,7	4,72	9,44	23,6
N	0,33	0,66	1,64	0,37	0,74	1,84	0,18	0,37	0,92
K ⁺	0,10	0,20	0,48	0,02	0,04	0,11	0,28	0,55	1,38
Ca ²⁺	0,08	0,16	0,40	0,02	0,05	0,12	0,12	0,24	0,60
Mg ²⁺	0,01	0,02	0,05	4,50-3	9,0E-3	0,02	0,03	0,05	0,13

Por meio da Tabela 2 observa-se que a *Canavalia brasiliensis* é o resíduo que oferta maior teor de nitrogênio ao solo e a palha de milho o menor. Em termos de teor de carbono, o resíduo de palha de milho foi o que mais disponibilizou esse elemento ao solo. Embora os valores dos resíduos vegetais sejam semelhantes, as pequenas variações determinam a dinâmica do nitrogênio no solo.

Por meio da soma dos macronutrientes (K, Ca e Mg) notou-se que o resíduo vegetal de palha de milho foi o resíduo que ofertou maior teor para o solo, desta forma o pH dos solos tratados com palha de milho tenderam a ser menores do que os tratados com os demais resíduos.

Figura 3: Representação esquemática das amostras de solo com a inserção dos resíduos vegetais: *Mucuna cinereum*, *Canavalia brasiliensis* e palha de milho.



Fonte: Arquivo próprio.

Figura 4: Incubação dos solos



Fonte: Arquivo próprio.

O experimento foi realizado na casa de vegetação 1 (figura 5) localizado no IAPAR – Londrina.

Figura 5: Casa de vegetação 1 – IAPAR, Londrina-Paraná



Fonte: GOOGLE EARTH.

O experimento teve duração de 10 meses, com coletas periódicas dos solos incubados nos tempos de 2 e 10 dias, 1 mês, 2, 4 e 7 meses. Os reagentes utilizados para a realização do experimento estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3: Reagentes necessários na experimentação

Reagentes	Fórmula Química	Procedência
Sulfato de Potássio	K_2SO_4	Anidrol
Ácido Sulfúrico	H_2SO_4	Química Moderna
Zinco metálico	Zn (s)	-
Ácido Salicílico	$C_7H_6O_3$	Sigma
Citrato de sódio	$C_6H_5Na_3O_7$	Dinâmica
Hidróxido de sódio	NaOH	Biotec
Nitroprussiato de sódio	$Na_2[Fe(CN)_5NO].2H_2O$	Vetec
Hipoclorito de sódio	NaClO	Vetec

Fonte: Arquivo Próprio.

Além dos reagentes químicos, foram necessários materiais de laboratório para a análise, como peneira 2 mm, tubos falcon, tubos de ensaio, pipetas de 1 e 5 mL (graduadas) e 20 mL (volumétrica), bicos de dosagem.

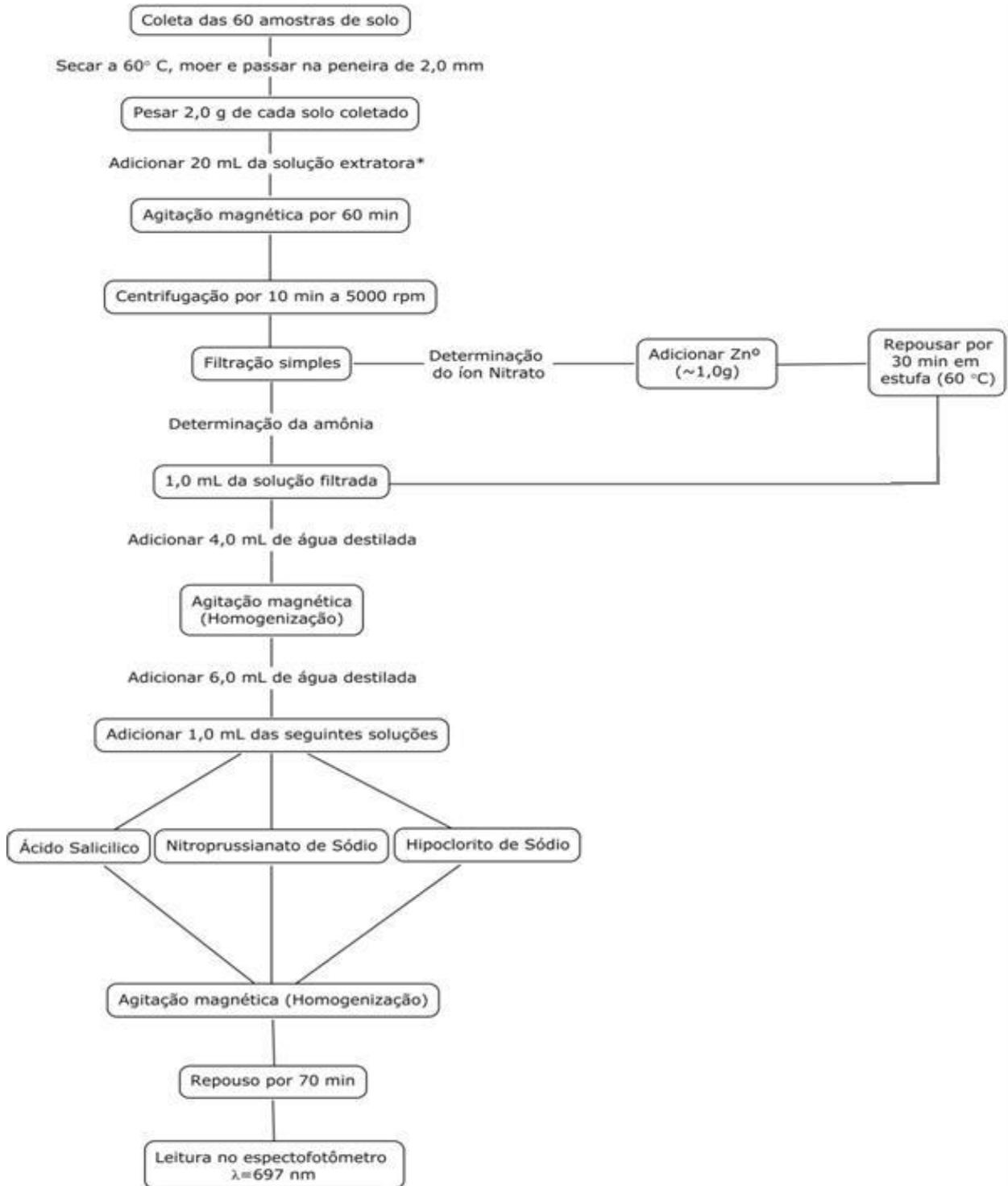
Para a análise utilizou-se os instrumentos do IAPAR sendo eles, a mesa agitadora da marca EDMUND BÜHLER SM 25, agitador de tubos da marca DAIGGER VORTEX GENIE 2, centrífuga da marca HERMLE Z306 e filtros Whatman n. 42.

A determinação do carbono presente no solo foi realizada no laboratório de solos pela equipe responsável pela rotina da área dos solos (ASO) do IAPAR, seguindo o método de determinação Walkley Black, que consiste na oxidação da matéria orgânica.

5.2 Procedimento experimental

Foram determinados os íons NH_4^+ e $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ (N-total) presentes em cada uma das 60 amostras incubadas durante o período de 10 meses (tempo pré-determinado). Para a realização da análise química dos solos, as etapas de execução estão representadas na figura 6. Os procedimentos adotados serão descritos a seguir.

Figura 6: Procedimentos para a análise química



Fonte: Arquivo próprio.

* $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4$

Seguindo o método colorimétrico de determinação do N testado por Nardo et al (s,d) em conjunto com a Embrapa Soja, para o preparo da solução extratora foi necessário transferir 17,4 g de K_2SO_4 P.A. e 5,5 mL de H_2SO_4 P.A. para um balão volumétrico de 2 L, completando seu volume com H_2O destilada.

Foram utilizadas três soluções para a análise colorimétrica de nitrogênio, com volume final de 2 L para cada solução.

- Solução 1: Pesou-se 100,0 g de ácido salicílico ($C_7H_6O_3$), 100,0 g de citrato de sódio ($C_6H_5Na_3O_7$) e 50,0 g de hidróxido de sódio (NaOH) num balão volumétrico e completa-se o volume com água destilada.
- Solução 2: Foram pesados 2,0 g de nitroprussianato de sódio 0,1 % ($Na_2[Fe(CN)_5NO].2H_2O$) e este será transferido para um balão volumétrico e completar o volume com água destilada.
- Solução 3: Adicionou-se 60 mL de hipoclorito de sódio (NaClO 4-6% P.A.) num balão volumétrico e completou-se o volume com água destilada.

Determinação do Carbono: Foi pesado 1,0 g da amostra de solo e em seguida adicionou-se 10 mL de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) 1 mol L^{-1} . Na capela colocou-se 10 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4 comercial concentrado) e deixou esfriar. Logo após, adicionou-se uma solução de 3 mL de ácido fosfórico (H_3PO_4 concentrado) e 47 mL de água destilada. Para a determinação do carbono adicionou-se 1 mL do indicador difenilamina ($C_{12}H_{11}N$) e titulou-se com sulfato ferroso ($FeSO_4$ 1,0 M) (MIYAZAWA et al. 1992).

Para a análise do nitrogênio em solução foi usado o instrumento de UV-Vis, pertencente à ASO do IAPAR, da marca GENESYS 10S, com uma cubeta de quartzo 1cm x 1cm. A lâmpada utilizada foi de xenônio de alta intensidade e geometria óptica de duplo feixe. Tendo esse instrumento capacidade de adquirir dados do ultravioleta até o infravermelho próximo, sendo que o instrumento realiza as leituras em fluxo.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Valores de pH dos solos pelo tempo de incubação.

A variação de pH foi um fator essencial na determinação da dinâmica N no solo, deste modo, ao avaliar os gráficos 1, 2 e 3 (APÊNDICE 1) notou-se que o solo de controle permaneceu estável durante todo o experimento, com pequenas variações que são atribuídas a MO já contida no solo no momento da coleta. Entretanto os solos que receberam tratamentos com os resíduos vegetais variaram consideravelmente ao longo do tempo de incubação. Os valores de pH estão descritos na Tabela 4.

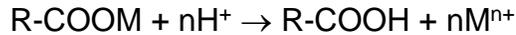
Tabela 4: Valores de pH no solo da mata durante o tempo de incubação, com adição de 1,0%, 2,0% e 5,0% m/m dos resíduos vegetais.

Resíduo vegetal	%	Tempo de incubação (em dias)					
		2	10	30	60	120	240
<i>Mucuna</i> <i>Cinereum</i>	1,0	4,4	4,4	4,4	4,5	4,4	4,4
	2,0	4,4	4,6	4,7	4,6	4,4	4,4
	5,0	5,2	5,2	5,6	5,5	4,7	4,5
<i>Canavalia</i> <i>brasiliensis</i>	1,0	4,5	4,6	4,7	4,6	4,5	4,5
	2,0	4,7	5,0	5,2	5,2	4,7	4,6
	5,0	5,4	5,6	6,6	5,9	5,3	5,0
Palha de milho	1,0	4,4	4,3	4,3	4,3	4,4	4,4
	2,0	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4
	5,0	4,7	4,7	4,7	4,6	4,6	4,5
Controle		4,3	4,2	4,2	4,2	4,3	4,2

Os gráficos 1, 2 e 3 (APÊNDICE 1) ilustraram os comportamentos de pH com a adição de 1,0%, 2,0% e 5,0% m/m, respectivamente de cada resíduo vegetal.

O solo avaliado foi o solo da mata que tem o pH inicial é de 4,3. Após 2 dias de incubação percebeu-se um aumento relevante no valor de pH, esse fato se deve a

reação de hidrólise da água, onde os macronutrientes (K, Ca e Mg) são substituídos por íon de hidrogênio (H^+), através do mecanismo apresentado abaixo.



Onde $M = K^+, Ca^{2+}$ ou Mg^{2+} .

Após 10 dias de incubação, o resíduo vegetal já iniciou a decomposição, dessa forma o aumento do pH foi atribuído ao fator de amonificação do N, em que as proteínas encontradas no tecido vegetal a se decompor e usaram os íons H^+ do solo para que ocorresse a formação da amônia e do íon amônio (NH_4^+). Os solos tratados com resíduos de *Mucuna cinereum* e de *Canavalia brasilienses* tiveram um aumento no valor do pH nos primeiros 30 dias de incubação, e atribuiu-se esse resultado as reações de nitrificação que ocorreram no meio, havendo a liberação de íons H^+ , acidificando o solo.

O solo com a adição de resíduo de palha de milho permaneceu estável durante todo o tempo de incubação, nas três porcentagens incorporadas ao solo, acredita-se que isso aconteceu devido a composição do resíduo ter baixa concentração de N e ao processo de liberação de íons H^+ decorrente das reações com os íons K, Ca e Mg. Dessa forma, quando ocorreu o processo de liberação de íons H^+ devido ao processo de imobilização de N, ocorreu simultaneamente o consumo desses íons em razão da reação $R-COOM + nH^+ \rightarrow R-COOH + nM^{n+}$, decorrente do resíduo de palha de milho ofertar grandes quantidades desses íons (K, Ca e Mg) para o meio.

Os valores de pH no solo cultivado é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5: Valores de pH no solo cultivado durante o tempo de incubação, com adição de 1,0%, 2,0% e 5,0% m/m dos resíduos vegetais.

Resíduo vegetal	%	Tempo de incubação (em dias)					
		2	10	30	60	120	240
<i>Mucuna cinereum</i>	1,0	5,9	6,0	6,5	6,3	6,3	6,3
	2,0	6,1	6,0	6,5	6,4	6,4	6,3
	5,0	6,3	6,3	6,4	6,3	6,2	6,3
<i>Canavalia brasiliensis</i>	1,0	6,3	6,2	6,6	6,5	6,4	6,3
	2,0	6,4	6,3	6,7	6,6	6,5	6,4
	5,0	6,7	6,8	7,0	6,7	6,6	6,5
Palha de milho	1,0	6,0	6,2	6,5	6,4	6,5	6,1
	2,0	6,0	6,2	6,5	6,4	6,5	6,2
	5,0	6,1	6,2	6,4	6,3	6,4	6,3
Controle		6,1	6,1	6,3	6,3	6,5	6,3

Os gráficos 4, 5 e 6 (APÊNDICE 1) demonstraram o comportamento do pH com a adição de 1,0%, 2,0% e 5,0% m/m de cada resíduo vegetal.

Ao avaliar os gráficos 4, 5 e 6 (APÊNDICE 1) notou-se que o solo de controle tem grandes variações durante o tempo de incubação que foram atribuídas a MO já contida no solo no momento da coleta, como este solo foi coletado em ambiente de cultivo ele tem mais MO que o solo da mata. Entretanto os solos que receberam tratamentos com os resíduos vegetais variaram consideravelmente ao longo do tempo de incubação.

O comportamento do resíduo vegetal de *Canavalia brasiliensis* e *Mucuna cinereum* foram semelhantes ao do solo da mata. Porém o solo tratado com palha de milho deixa de ser estável e passa a aumentar significativamente o pH, tornando o solo cada vez mais alcalino. Devido ao fato de ter poucos íons H^+ disponível a reação de hidrólise da água irá agir em todos esses íons tornando assim o solo mais alcalino em menos tempo. Depois de 60 dias de incubação ocorre um pequeno decréscimo, ou seja, o solo se acidifica levemente, atribuiu-se esse comportamento ao processo de imobilização de N, entretanto no tempo 120 dias o solo volta a ficar mais alcalino devido

ao processo de mineralização de N durante a decomposição do resíduo, e na última coleta (210 dias) o solo acidificou e deduziu-se que a partir desse tempo iniciou-se a etapa de nitrificação de N no solo.

6.2. Concentração de amônio dos solos

A concentração de íon amônio (NH_4^+) representa a etapa de amonificação e mineralização na dinâmica do nitrogênio. É o início da decomposição dos resíduos vegetais e a transformação do N-orgânico em N-inorgânico. Nas Tabelas 6 e 7 estão apresentadas as concentrações ao decorrer do experimento.

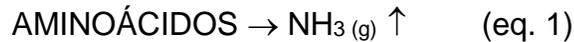
Tabela 6: Concentração de amônio durante o tempo de incubação no solo da mata pH 4,3.

Resíduos Vegetais	%	Tempo de incubação (em dias)					
		2	10	30	60	120	240
		----- N-NH ₄ , mg/kg -----					
<i>Mucuna Cinereum</i>	1,0	7,4	11,0	13,2	19,9	7,3	6,3
	2,0	8,9	17,3	19,6	24,5	9,4	6,1
	5,0	26,6	36,5	43,8	33,1	12,3	10,5
<i>Canavalia brasiliensis</i>	1,0	7,0	12,0	14,1	14,3	10,2	9,2
	2,0	9,8	16,8	23,1	28,9	10,8	9,3
	5,0	21,8	38,1	59	38,3	6,3	13,1
Palha de milho	1,0	5,0	4,8	5,3	7,0	4,8	5,4
	2,0	4,8	5,3	4,2	6,6	3,7	4,2
	5,0	6,4	6,5	5,5	6,3	5,5	5,3
Controle	-	6,1	5,1	3,5	4	3,1	4,3

Os gráficos 7, 8 e 9 (APÊNDICE 1) demonstraram a mineralização do nitrogênio durante o tempo de incubação com a adição dos resíduos vegetais *Canavalia brasiliensis*, *Mucuna Cinereum* e palha de milho 5,0% m/m no solo mais ácido, de pH 4,3. As três concentrações de resíduo vegetal adicionados tiveram comportamentos muito semelhantes.

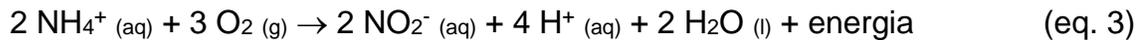
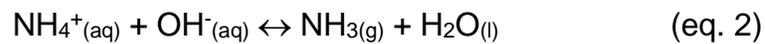
A concentração de íon amônio do solo da mata representado nos gráficos citados indicou que no solo em que não houve a adição de MO, ou seja, o solo de

controle, permaneceu praticamente estável, tendo uma pequena queda em sua concentração a partir de um mês. Esse fator se deve a perda de N para a atmosfera por meio da formação de NH_3 através da reação de decomposição de matéria orgânica já existente no solo antes da incubação (eq 1).



A concentração de íon amônio do solo tratado com resíduo de palha de milho também permaneceu constante durante período de incubação, sendo isso possível devido ao baixo teor de N no resíduo, dessa forma o nitrogênio foi imobilizado ao invés de amonificado, ou seja, os microrganismos do meio utilizam o N do solo e do resíduo como fonte de suas próprias proteínas até que todo o C do resíduo seja utilizado, não liberando desse modo o N-amoniaco para o solo.

Embora as concentrações dos resíduos de *Canavalia brasiliensis* e *Mucuna cinereum* sejam diferentes, o comportamento foi muito semelhante, ambas apresentaram o pico de maior concentração no tempo de 1 mês de incubação e posteriormente começam a perder NH_4^+ , podendo ser tanto para a atmosfera (eq. 1) quanto pela reação de transformação de amônio em nitrito (eq. 2).



A Tabela 7 descreve os dados de concentração do íon amônio no solo menos ácido, de pH 6,3.

Tabela 7: Concentração de amônio durante o tempo de incubação no solo cultivado, pH 6,3.

Resíduos Vegetais	%	Tempo de incubação (em dias)					
		2	10	30	60	120	240
		----- N-NH ₄ , mg/kg -----					
<i>Mucuna Cinereum</i>	1,0	9,0	5,5	3,8	4,3	3,2	3,8
	2,0	14,3	5,8	5,5	4,2	4,0	4,9
	5,0	38,7	33,4	6,6	6,2	6,1	4,7
<i>Canavalia brasiliensis</i>	1,0	9,8	4,8	3,3	4,8	3,2	4,3
	2,0	15,1	6,4	4,4	4,8	3,2	3,7
	5,0	19,9	34,8	7,7	7,1	4,5	4,3
Palha de milho	1,0	4,4	5,3	4,0	3,6	3,7	4,2
	2,0	4,9	5,0	3,5	3,5	4,1	3,8
	5,0	7,2	6,1	3,6	4,4	4,2	3,9
Controle	-	5,7	4,7	4,4	3,7	3,4	3,5

Os gráficos 10, 11 e 12 (APÊNDICE 1) mostraram os teores de íon amônio durante o tempo de incubação do solo com a adição de resíduos vegetais de *Canavalia brasiliensis*, *Mucuna cinereum* e palha de milho no solo cultivado de pH inicial 6,3.

Os comportamentos do solo de controle e do resíduo da palha de milho foram semelhantes ao do solo da mata. Já os resíduos de *Canavalia brasiliensis* e *Mucuna cinereum* apresentaram diferenças significativas. De todos os tratamentos feitos no solo, o único que diferenciou foi o de *Canavalia brasiliensis* no teor de 5,0%.

Nos teores de 1,0% e 2,0% os dois resíduos tiveram o mesmo comportamento, e no de 5,0% o solo com a adição de *Mucuna cinereum* teve o mesmo comportamento que os demais, sendo que na coleta de 2 dias o teor de amônio estava relativamente alto e após a coleta de 10 dias há uma diminuição da concentração de amônio bastante relevante. Acredita-se que a diminuição brusca da concentração de amônio na decomposição do resíduo de *Canavalia brasiliensis* e *Mucuna cinereum* se deve a indisponibilidade de íons H⁺ presentes no meio, tendo que o solo tem um pH mais alto que o solo da mata, dessa forma o R-NH₂ formado através da decomposição do resíduo não tem como reagir, diminuindo dessa forma a concentração de NH₄⁺ no meio, entretanto há também uma parcela de amônio que será oxidado por microrganismos se

transformando em nitrato por meio da reação de nitrificação, e dessa forma irá diminuir a concentração do composto no solo. O comportamento do solo com adição de 5,0% de *Canavalia brasiliensis* foi o que mais diferiu, pois no tempo de 10 dias a concentração de amônio ainda estava alta, e somente na coleta de 30 dias que ocorreu o decaimento da concentração de amônio. Atribuiu-se essa diferença ao tempo de decomposição do resíduo vegetal.

6.4. Análise do nitrogênio total mineral

As concentrações de nitrogênio total mineral ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3$) foram descritas nas Tabelas 8 e 9.

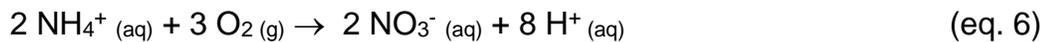
Tabela 8: Concentração de nitrogênio total mineral ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$), mg/kg, durante o tempo de incubação no solo da mata, pH 4,3.

Resíduos Vegetais	%	Tempo de incubação (em dias)					
		2	10	30	60	120	240
		----- N-N _{tot} , mg/kg -----					
<i>Mucuna Cinereum</i>	1,0	14,53	15,89	17,11	21,63	24,58	24,82
	2,0	18,87	26,48	27,19	34,15	40,42	33,54
	5,0	46,23	43,53	52,62	55,91	68,35	52,34
<i>Canavalia brasiliensis</i>	1,0	13,43	14,06	18,05	27,30	23,51	28,87
	2,0	17,17	21,44	29,71	36,59	36,55	50,07
	5,0	39,00	36,04	62,14	66,31	48,63	24,68
Palha de milho	1,0	7,77	6,28	4,02	6,15	9,53	12,91
	2,0	8,27	5,39	4,71	6,05	5,61	12,02
	5,0	9,10	5,67	3,78	7,18	9,34	22,49
Controle	-	8,27	8,94	10,30	10,61	12,09	11,52

Os gráficos 13, 14 e 15 (APÊNDICE 1) ilustraram a concentração de nitrogênio total mineral no solo da mata, pH 4,3, com a adição dos resíduos vegetais *Mucuna Cinereum*, *Canavalia brasiliensis* e palha de milho pós colheita.

O solo de controle do nitrogênio total mineral houveram poucas variações, não sendo estas significativas. Sendo assim, o solo coletado não possuía teores significativos de matéria orgânica para que ocorressem as reações de decomposição ao qual liberariam NH_4^+ e NO_3^- para o solo.

O resíduo de palha de milho notou-se que ele tem um comportamento bem diferente dos demais resíduos analisados, ficando com a concentração de N abaixo do solo de controle por um determinado tempo (4 meses), isso ocorreu devido ao primeiro consumir nitrogênio do solo pelos microrganismos, por uma etapa do ciclo do N conhecida como imobilização, ou seja, a transformação de N-inorgânico em N-orgânico, pois o resíduo de palha de milho tem baixo teor de nitrogênio, entretanto tem um teor significativo de carbono, sendo assim os microrganismos necessitam do nitrogênio do meio para a produção de suas próprias proteínas e usar todo o carbono existente na produção de sua biomassa, desse modo o resíduo de palha de milho retira nitrogênio do meio, sejam eles sais nitrogenados ou minerais, para somente depois do consumo de todo o carbono do resíduo de palha de milho iniciar então a etapa de mineralização (eq. 4 e 5) e nitrificação (eq. 6), na decomposição do resíduo e começou a liberar N para o solo.



O resíduo de *Canavalia brasiliensis* apresentou um comportamento em que o primeiro ocorre a mineralização (eq. 4 e 5) e nitrificação (eq 6) do nitrogênio, tendo uma pequena queda de concentração de N no tempo de 10 dias, inferindo que seja pelo fenômeno de imobilização do N causado pela reação dos microrganismos, voltando a aumentar a concentração no decorrer do tempo de incubação. No tempo de 4 meses iniciou uma perda de N, associou-se que esta perda aconteça para a atmosfera por meio das reações de desnitrificação de N, características de solos com pH entre 4 e 5 (eq. 7, 8, 9 e 10). Sendo assim no final do tempo de incubação a concentração de N por meio da adição de *Canavalia brasiliensis* no solo foi próxima da concentração de N pela adição do resíduo de palha de milho.





O resíduo de *Mucuna cinereum* apresentou um aumento de concentração de N durante quatro meses de incubação, percebeu-se por esse resultado que a *Mucuna cinereum* teve uma decomposição mais lenta que o resíduo de *Canavalia brasiliensis* suprindo o solo com N por mais tempo, além disso, no tempo de análise (7 meses) o resíduo de *Mucuna cinereum* perde menos N, chegando ao final do experimento com uma concentração de N mais alta que os outros dois resíduos em análise (Tabela 8).

Os gráficos 15, 16 e 17 (APÊNDICE 1) ilustram a concentração de nitrogênio total mineral no solo cultivado, pH 6,3, com a adição dos resíduos vegetais *Mucuna Cinereum*, *Canavalia brasiliensis* e palha de milho pós colheita.

Tabela 9: Concentração de nitrogênio total mineral durante o tempo de incubação no solo cultivado, pH 6,3.

Resíduos Vegetais	%	Tempo de incubação (em dias)					
		2	10	30	60	120	240
		----- N-N _{tot} , mg/kg -----					
<i>Mucuna Cinereum</i>	1,0	13,53	16,37	16,86	17,84	23,90	25,13
	2,0	20,40	22,38	28,28	38,61	39,55	34,51
	5,0	41,17	47,14	56,86	47,87	44,88	36,67
<i>Canavalia brasiliensis</i>	1,0	9,70	17,91	21,21	31,60	32,43	44,69
	2,0	14,80	20,96	35,69	50,28	52,59	67,53
	5,0	25,17	41,66	48,46	35,05	35,97	40,43
Palha de milho	1,0	7,77	7,38	5,39	7,53	6,48	13,76
	2,0	7,77	5,16	3,69	4,99	7,16	15,85
	5,0	7,70	7,33	4,21	7,06	12,11	30,99
Controle	-	8,97	7,77	9,27	10,53	8,82	11,75

O solo de controle sofreu pequenas variações provenientes das reações da matéria orgânica original do solo. O comportamento do resíduo de palha de milho no solo foi semelhante ao do solo da mata (pH 4,3), sendo que devido a sua relação C/N ocorreu primeiro a imobilização de N no solo, acontecendo esse fator devido ao uso de

N pelos microrganismos para formação de suas próprias proteínas e uso de todo o carbono excedente na formação de sua biomassa. No tempo de 4 meses de incubação o resíduo da palha de milho iniciou a liberação de N para o meio, em forma de N-amoniaco.

Os resíduos de *Canavalia brasiliensis* e *Mucuna cinereum* apresentaram comportamentos análogos. Ao iniciar o processo de decomposição ocorreu o processo de mineralização e nitrificação de N no solo por meio das reações mencionadas na discussão acima (eq 4, 5 e 6).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os parâmetros avaliados foram o valor de pH e a concentração de nitrogênio no solo, tendo que o pH ótimo para a fertilidade do solo é de 6,0 a 6,5 o resíduo de *Canavalia brasiliensis* foi o que mais de se aproximou desse valor no solo da mata nas três doses inseridas no solo.

No solo cultivado o resíduo de *Mucuna cinereum* foi o que apresentou pH mais adequado ao longo do experimento, ficando entre os valores 5,9 e 6,3 durante os 7 meses.

Em relação ao teor de amônio o resíduo de *Canavalia brasiliensis* com a porcentagem de adição de 1,0% foi o que se manteve com a concentração mais estável no solo da mata, chegando ao fim do experimento com concentração de 9,2 mg/kg. Entretanto com adição de 2,0% e 5,0% o solo com *Canavalia brasiliensis* não se manteve tão estável, porém ao fim do experimento teve concentração 9,3 mg/kg e 13,1 mg/kg, respectivamente, sendo esses valores acima dos encontrados pelos outros dois resíduos analisados. No solo cultivado a concentração de amônio fica bem baixa em todas as concentrações dos três resíduos, ficando próximos os valores finais atingidos, sendo concentração mais notável a de *Mucuna cinereum* com adição de 2,0% de 4,9 mg/Kg.

No que diz respeito a concentração de nitrogênio total mineral (N-tot) no solo cultivado o solo com adição de resíduo de *Canavalia brasiliensis* foi o que mais ofertou N-tot para o meio, entretanto o solo da mata com adição de 5,0% o resíduo de *Mucuna cinereum* chega ao fim do experimento com a concentração de N-tot acima dos demais tendo um valor de 52,34 mg/Kg.

Diante dos resultados percebeu-se que o fornecimento de N pelo resíduo de palha de milho pós colheita para solo é baixo, podendo causar deficiência deste elemento para plantas por competição com microrganismos.

Os resíduos de *Canavalia brasiliensis* e *Mucuna Cinereum* tiveram comportamentos análogos, pois ambos liberam alta quantidade de N logo após adição ao solo.

Os resíduos vegetais que contém alta quantidade de N, após um mês de incubação pode perder para atmosfera na forma de N_2O ou N_2 .

O resíduo de *Canavalia brasiliensis* é o mais eficaz em termos de correção de pH e de concentração de N disponível no meio, em contrapartida a utilização do resíduo de palha de milho é inviável para os parâmetros analisados.

Com isso pode-se concluir que os resíduos de *Canavalia brasiliensis* e *Mucuna Cinereum* são as melhores opções para ser usado como forragem nos solos, pois o fornecimento de N para o solo é significativo e por um período relativamente longo.

REFERÊNCIAS

AGRIPOINT CONSULTORIA LTDA. **Fertilidade do solo e nutrientes**: conheça a importância de cada um. 2012. Disponível em: <p_fertilidade_do_solo_e_nutrientes_conheca_a_importancia_de_cada_um_correc_ao_adubacao_cafe_curso_online_lucratividade_4125>. Acesso em: 24 set.2017.

AGROLINK. **Nutrientes**. 2016. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/nutrientes_361443.html>. Acesso em: 16 nov. 2017.

AGUIAR, E. P. C. **A importância da matéria orgânica no solo**. 2011. Disponível em: < http://www.webartigos.com/artigos/a-importancia-da-materia-organica-do-solo/66938/>. Acesso em: 12 de Ago. 2017.

CASSMAN, K. G.; MUNNS, D. N. Nitrogen mineralization affected by soil moisture, temperature and depth. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p.1233-1237, 1980.

COBO, J. G; BARRIOS, E.; Kass, D. C. L; Thomas, R. (2002b): **Decomposição e liberação de nutrientes por adubos verdes em um agroecossistema de encostas tropicais**. Planta e Solo 240: 331-342.

COSTA, M. B. B. da et al. **Adubação Verde no Sul do Brasil**. AS-PTA, Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa. 1992. 346 p.

CULLER, O. **Adubação Verde**. 2017. Disponível em: < http://www.agron.com.br/publicacoes/informacoes/artigos-cientificos/2017/06/28/054512/voc-sabe-o-que-e-adubacao-verde.html>. Acesso em: 12 de ago. 2017.

EMBRAPA. **Adubação verde com leguminosas**. 2005. Disponível em:<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/90/adubacao-verde-com-leguminosas>. Acesso em: 14 nov. 2017

EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa-spi, 2006. 306 p.

EMBRAPA. **Fontes agrícolas de Óxido Nitroso (N₂O)**. 2008. Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/projetos/index.php3?sec=agrog%3A%3A%3A87>. Acesso em: 12 set. 2017.

ERNANI, P. R. **Disponibilidade de Nitrogênio e adubação nitrogenada para a macieira**. Lages: Graphel, 2003. 76 p.

GALLO, L. A., BASSO, L. C. **Metabolismo do nitrogênio**. 2012. Disponível em: <<http://docentes.esalq.usp.br/luagallo/nitrogenio.htm>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

GAZZONI, D. L. **Nutrientes e suas funções na planta**. 2017. Disponível em: <<http://www.portaldbo.com.br/Agro-DBO/Noticias/Nutrientes-e-suas-funcoes-na-planta/19157>>. Acesso em: 14 ago. 2017.

GIRACCA, E. M. N., NUNES, J. L. S. **Nutrientes**. 2016. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/nutrientes_361443.html> . Acesso em: 12 ago. 2017.

KIELING, D. D. **Estudo da remoção biológica de nitrogênio a partir de lodo nitrificante cultivado em meio autotrófico sob condições anóxicas**. 2004. p. 119. Dissertação (mestrado) - Curso de engenharia química, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2004.

KLEIN, R. et al. Decomposição de resíduos de palha de milho, aveia e nabo forrageiro em sistema convencional e plantio direto. **2º simpócio de Agronomia e Tecnologia em Alimentos**. Santa Catarina. 2015. Disponível em: <<http://faifaculdades.edu.br/eventos/AGROTEC/1AGROTEC/arquivos/resumos/res14.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2017.

LIMA, R. MENEZES, V. **Utilização da Adubação Verde na Agricultura Sustentável**. 2010. Disponível em: <http://www.catolica-to.edu.br/portal/portal/downloads/docs_gestaoambiental/projetos2010-1/3-periodo/Utilizacao_da_adubacao_verde_na_agricultura_sustentavel.pdf>. Acesso em: 16 set. 2017.

LOPES, A. S. **Manual Internacional de fertilidade do solo**. Piracicaba: POTAFOS, 1998.

MACHADO, D. M. et al. ATIVIDADES MICROBIANAS E AS TRANSFORMAÇÕES NO CICLO DOS ELEMENTOS NO SOLO. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 15, p.180-195, nov. 2012. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2012b/ciencias_agrarias/atividades_microbianas.pdf>. Acesso em: 18 maio 2017.

MANSUR, H. S. **Espectroscopia no Ultravioleta-visível (UV-Vis)**. 2017. Disponível em: <<http://www.biomaterial.com.br/modulomicroscopia2017.html>>. Acesso em: 04 ago 2017.

MELLO, F. A. F. de, et al. **Fertilidade de Solos**. São Paulo: Nobel, 1983. 400 p. MOSAIC, Fertilizantes. **O nitrogênio nas plantas**. 2015. Disponível em: <<http://www.nutricaoadesafras.com.br/nitrogenio#nitrogen-in-plants>>. Acesso em: 16 nov. 2017.

MULLER, A. M., PAULUS, G., BARCELLOS, L. A. R. **Agroecologia Aplicada: Práticas e Métodos para uma agricultura de base ecológica**. Porto Alegre: EMATER/RS, 2000. p. 86.

NARDO, A. E. et al. Avaliação de métodos químicos para determinação de nitrogênio em amostras de grãos de soja. **VII Jornada Acadêmica da Embrapa Soja**, Londrina, p. 12-18, 2012. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/929890/1/ID33335.pdf>>. Acesso: 18 set.2017.

PORTAL DO AGRONEGÓCIO. **Adubação verde**. 2001. Disponível em: <<http://www.portaldoagronegocio.com.br>>. Acesso em: 26 de maio de 2010.

ROSA, R. S., MESSIAS, R. A., AMBROZINI, B. **Importância da compreensão dos ciclos biogeoquímicos para o desenvolvimento sustentável**. São Carlos, 2003. p. 56. Disponível em: <<http://www.iqsc.usp.br/iqsc/servidores/docentes/pessoal/mrezende/arquivos/EDUC-AMB-Ciclos-Biogeoquimicos.pdf>>. Acesso em: 8 set. 2017.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. Mineralização e absorção por milheto do nitrogênio do solo, da palha de milho-(15N) e da uréia-(15N). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p. 423-429, 1993.

SARAN, L, M. **Fundamentos de espectroscopia molecular UV-Visível**. 2012. Disponível em: <<http://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/tecnologia/LUCIANAMARIASARAN/fundamentos-de-espectrofotometria-uv-visivel-2012>>. Acesso em: 16 nov. 2017.

SASSAKI, K. T. **Espectrofotometria de absorção: princípios gerais**. 2001.

Disponível em:

<http://www.foa.unesp.br/home/departamentos/ciencias_basicas/espectrofotometria-de-absorcao-kts.pdf>. Acesso em: 20 set. 2017.

SCHLOEN M, PETERS M.,SCHULTZE-KRAFT R. **Canavalia brasilienses Mart. ex. Benth.** 2012. Disponível

em:<<http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/gbase/data/canbras.htm>>. Acesso em: 17 out. 2017.

SILVA, A. R. da. **Sistema agroflorestal sobre cultivo de leguminosas: fertilidade do solo, resistência a penetração e produtividade de milho e feijão-caupi**. 2011. p.96. Dissertação (mestrado) - Mestrado em produção vegetal, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2011.

SILVA, C. R., SOUZA, Z. M.de. **Eficiência do uso de nutrientes em solos ácidos: manejo de nutrientes e uso pelas plantas**. 1998. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/acido.htm>>. Acesso em:14 nov. 2017.

SOUZA FILHO, B. F. **O ciclo do nitrogênio e suas implicações na agricultura moderna**. Pesagro-Rio, Niterói, n.13, 2008.

VINHAL-FREITAS, I. C., RODRIGUES, M. B. Fixação biológica do nitrogênio na cultura de milho. **Agropecuária Técnica**, v. 31, n. 2, p. 143-154, 2010.

VIRTUOS. **Ciclo do Nitrogênio**. 2013. Disponível em:

<<http://www.sobiologia.com.br/conteudos/Ar/nitrogenio.php>>. Acesso em: 23 ago. 2017.

WISNIEWSKI, C.; HOLTZ, G. P. Decomposição da palhada e liberação de nitrogênio e fósforo numa rotação aveia e soja sob plantio direto. **PAB**, Brasília, v. 32, p. 1191-1197.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Gráficos do comportamento dos solos com a adição de *Canavalia brasiliensis*, *Mucuna cinereum* e Palha de milhos pós colheita.

Gráfico 1: Valores de pH no solo da mata, pH 4,3, com adição de 1,0% m/m dos resíduos vegetais, durante o tempo de incubação.

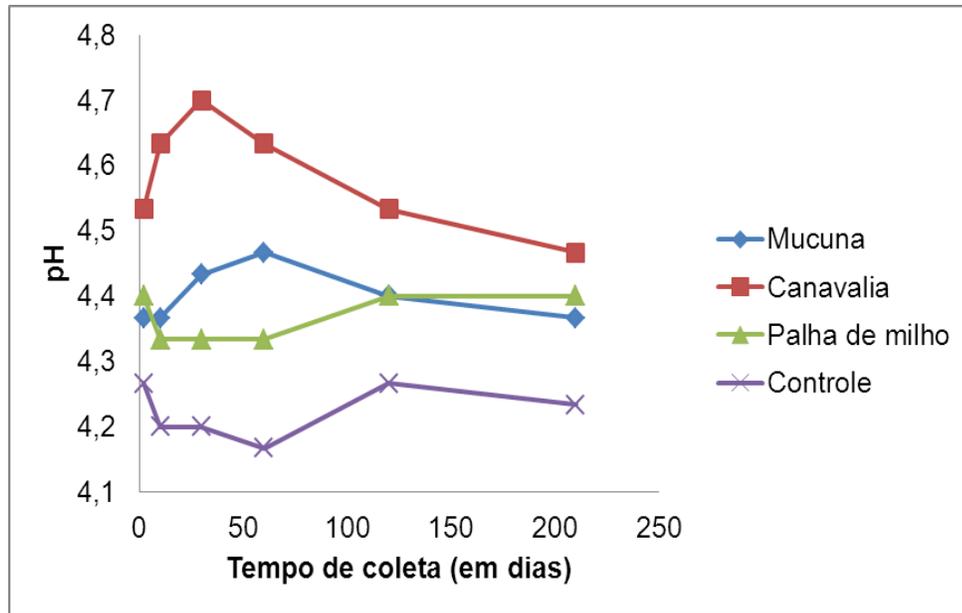


Gráfico 2: Valores de pH no solo da mata, pH 4,3, com adição de 2,0% m/m dos resíduos vegetais, durante o tempo de incubação

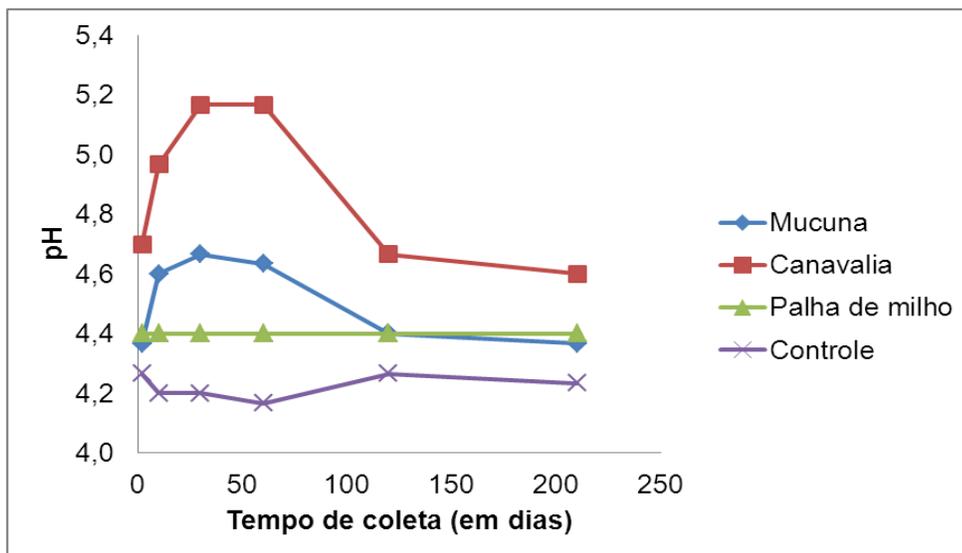


Gráfico 3: Valores de pH no solo da mata, pH 4,3, com adição de 5,0% m/m dos resíduos vegetais, durante o tempo de incubação

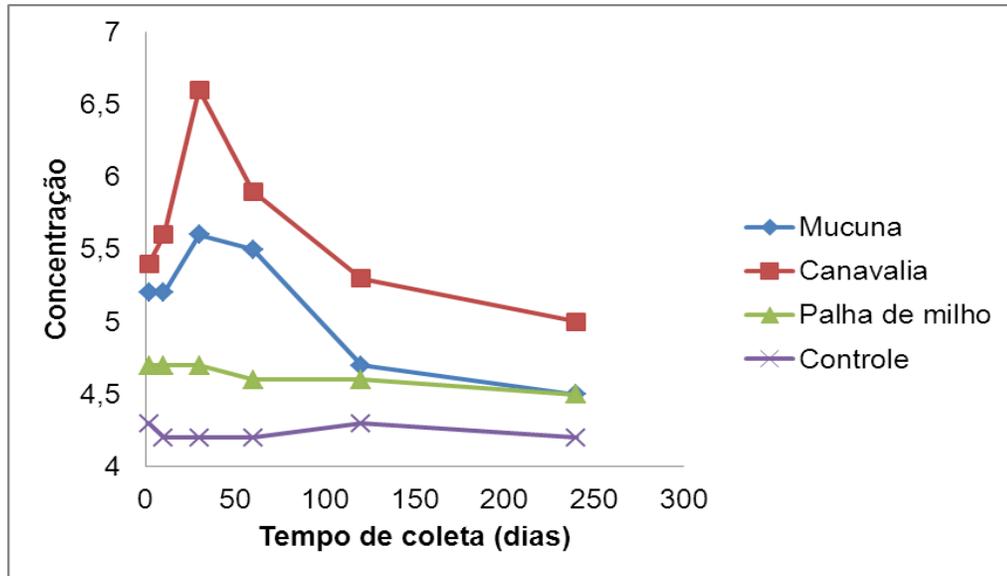


Gráfico 4: Valores de pH no solo cultivado, pH 6,3, com adição de 1,0% m/m dos resíduos vegetais, durante o tempo de incubação

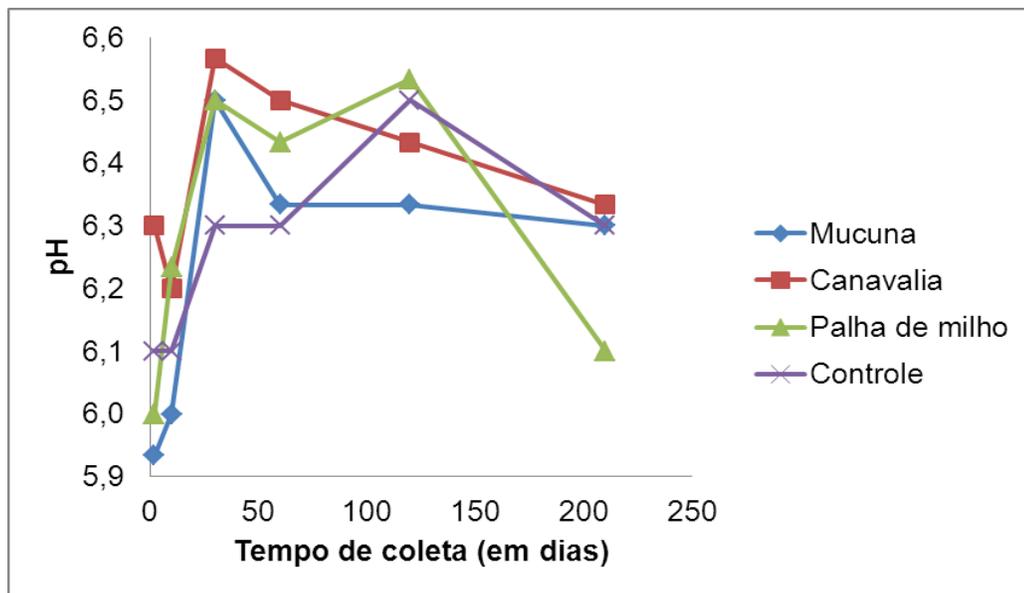


Gráfico 5: Valores de pH no solo cultivado, pH 6,3, com adição de 2,0% m/m dos resíduos vegetais, durante o tempo de incubação

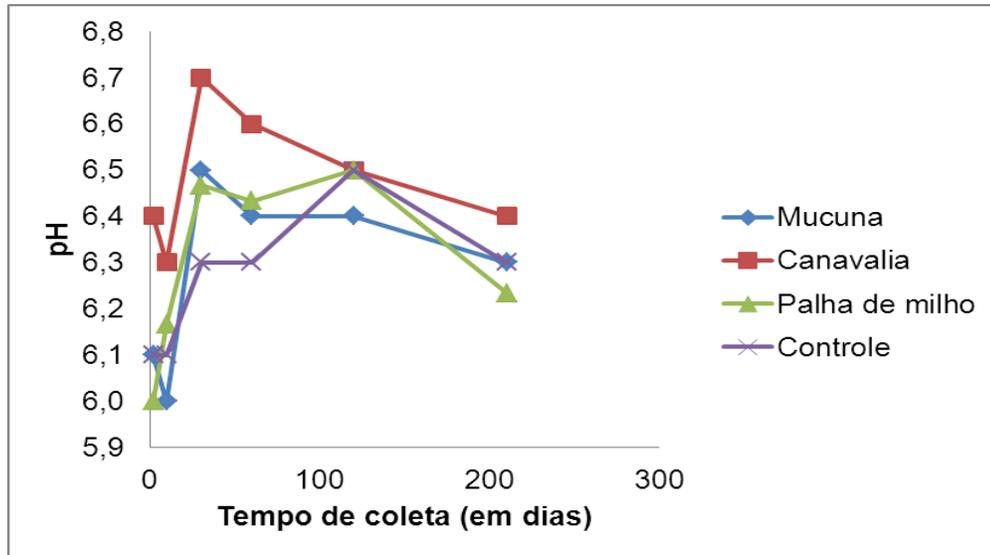


Gráfico 6: Valores de pH no solo cultivado, pH 6,3, com adição de 5,0% m/m dos resíduos vegetais, durante o tempo de incubação

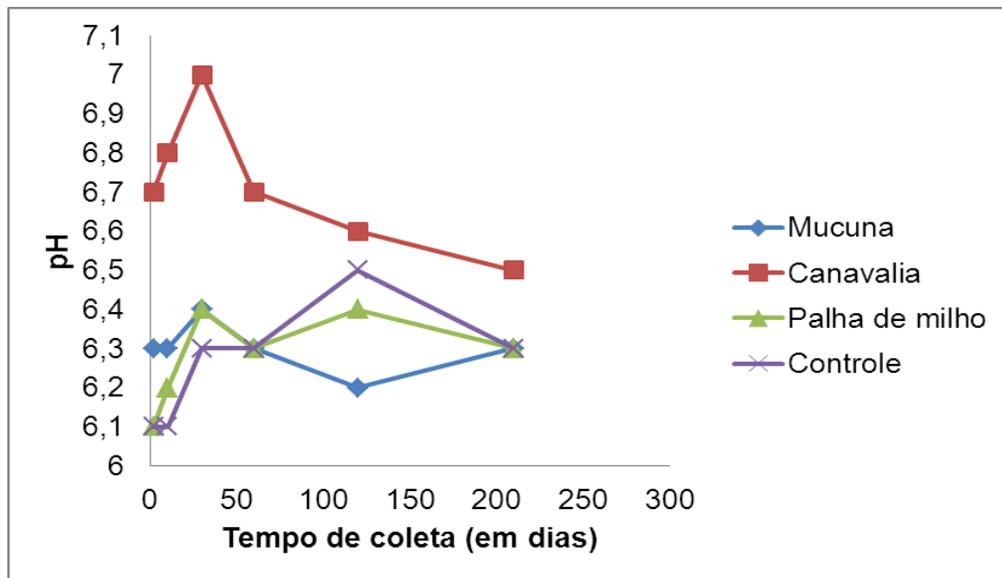


Gráfico 7: Concentração de NH_4^+ no solo com a adição dos resíduos vegetais de *Canavalia brasiliensis*, *Mucuna Cinereum* e palha de milho com adição de 1,0% m/m, no solo pH 4,3.

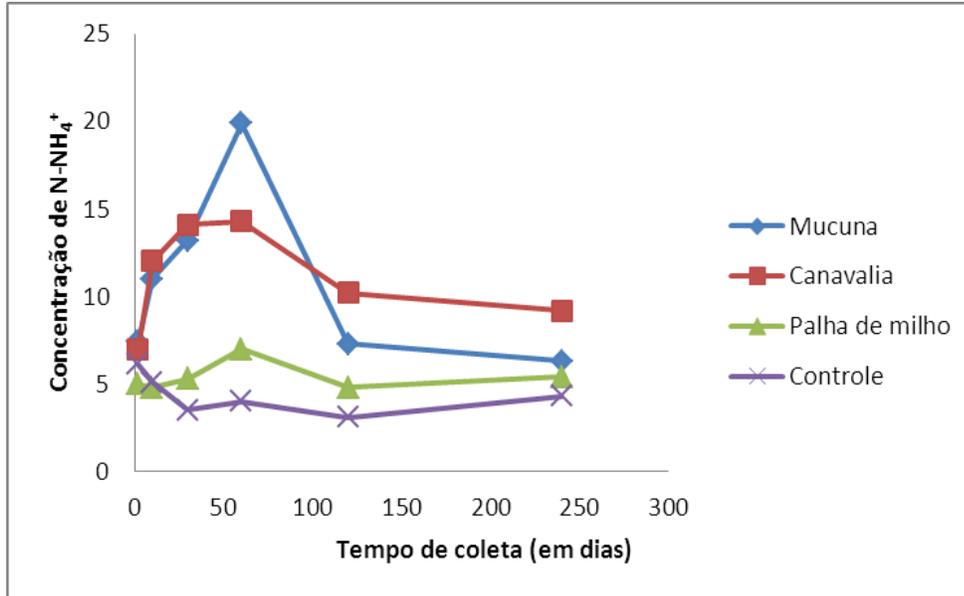


Gráfico 8: Concentração de NH_4^+ no solo com a adição dos resíduos vegetais de *Canavalia brasiliensis*, *Mucuna Cinereum* e palha de milho com adição de 2,0% m/m, no solo pH 4,3.

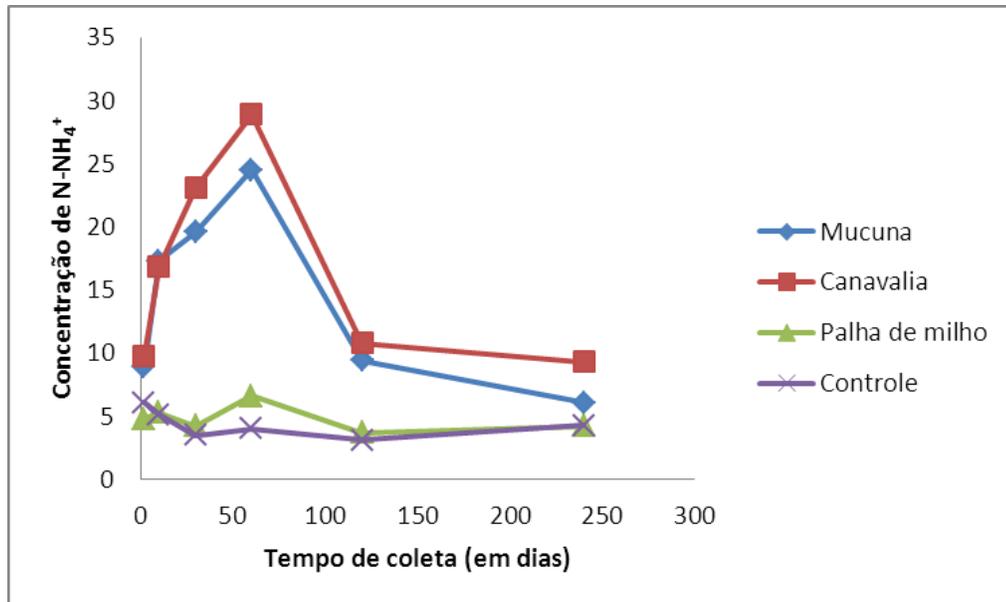


Gráfico 9: Concentração de NH_4^+ no solo com a adição dos resíduos vegetais de *Canavalia brasiliensis*, *Mucuna Cinereum* e palha de milho com adição de 5,0% m/m, no solo pH 4,3.

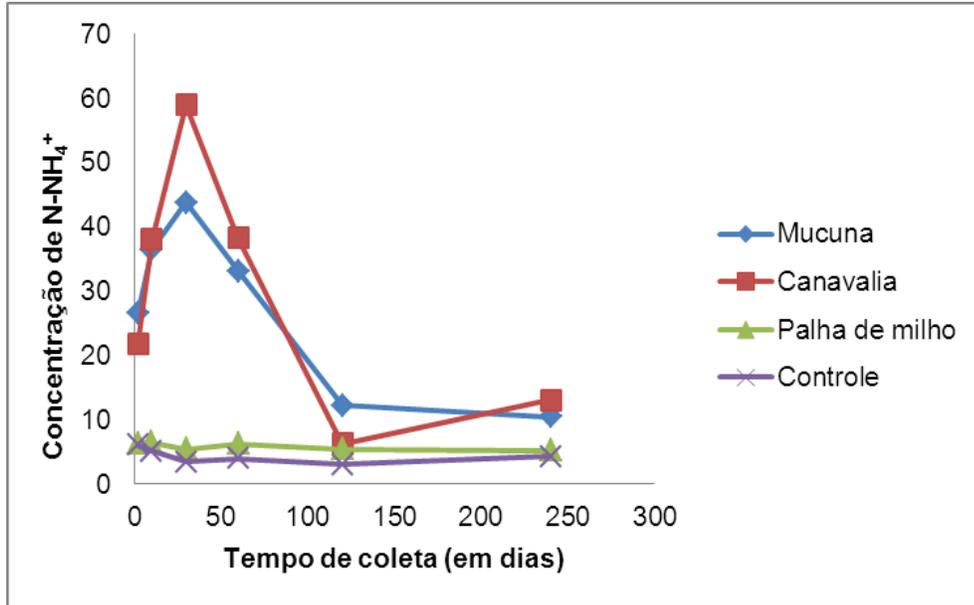


Gráfico 10: Concentração de NH_4^+ no solo com a adição dos resíduos vegetais de *Canavalia brasiliensis*, *Mucuna Cinereum* e palha de milho com adição de 1,0% m/m, no solo cultivado, pH 6,3.

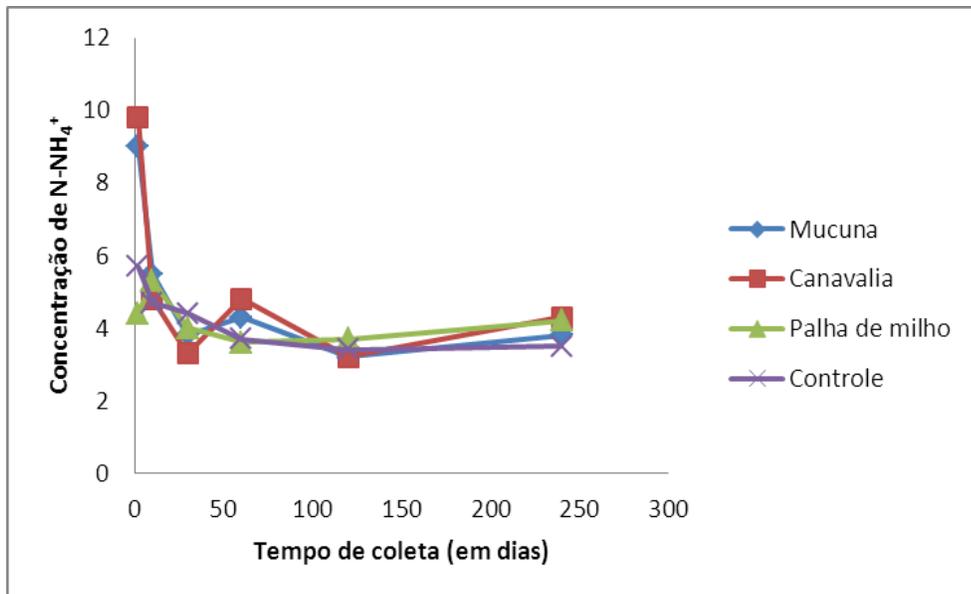


Gráfico 11: Concentração de NH_4^+ no solo com a adição dos resíduos vegetais de *Canavalia brasiliensis*, *Mucuna Cinereum* e palha de milho com adição de 2,0% m/m, no solo cultivado, pH 6,3.

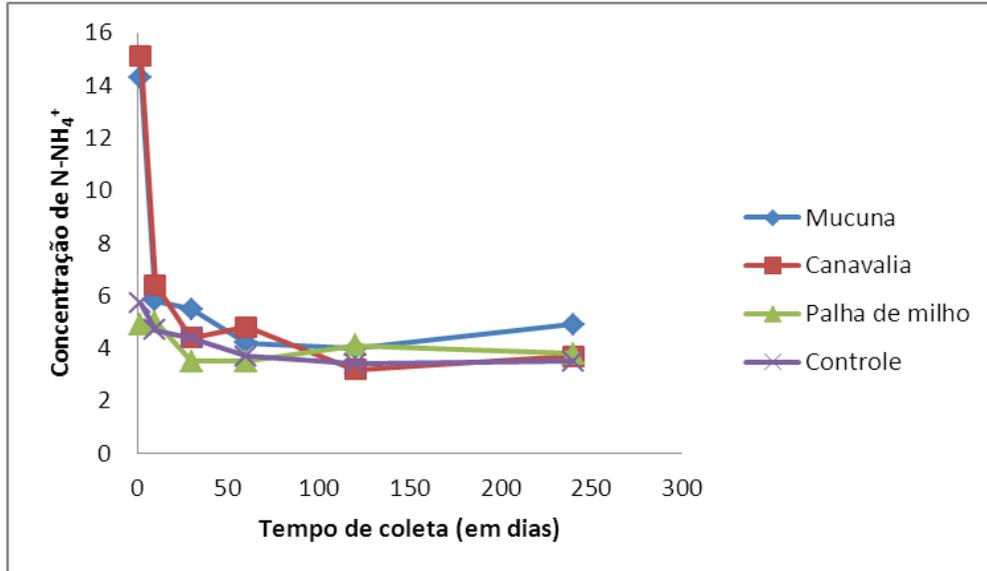


Gráfico 12: Concentração de NH_4^+ no solo com a adição dos resíduos vegetais de *Canavalia brasiliensis*, *Mucuna Cinereum* e palha de milho com adição de 5,0% m/m, no solo cultivado, pH 6,3.

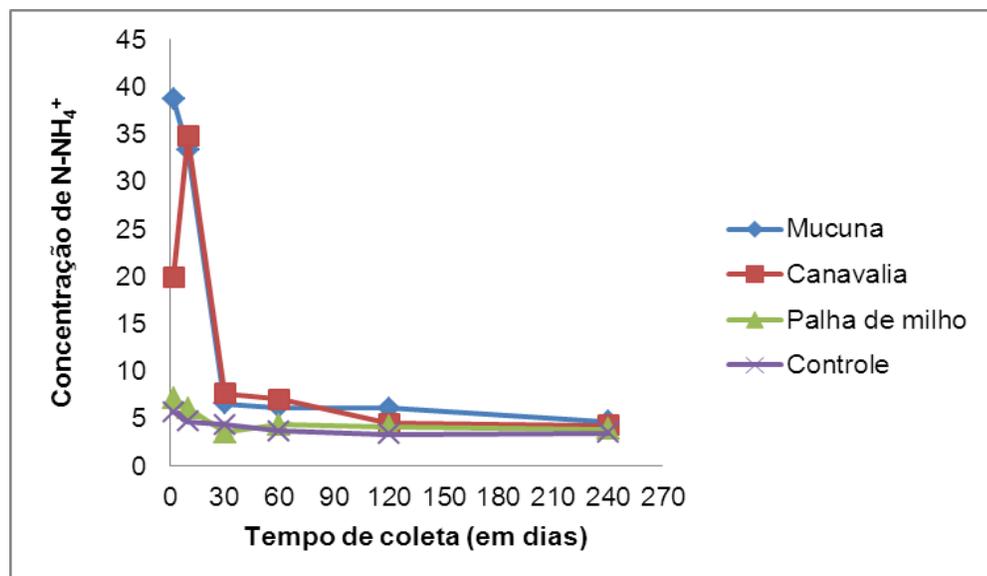


Gráfico 13: Concentração de nitrogênio total mineral no solo da mata pela adição dos resíduos vegetais de *Mucuna cinereum*, *Canavalia brasiliensis* e palha de milho pós colheita no proporção de 1,0% m/m.

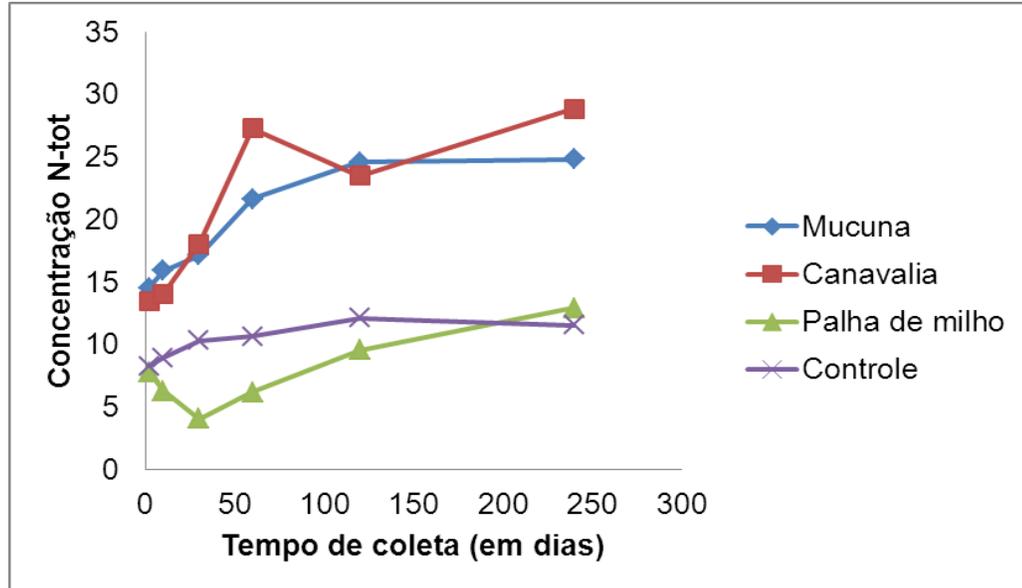


Gráfico 14: Concentração de nitrogênio total mineral no solo da mata pela adição dos resíduos vegetais de *Mucuna Cinereum*, *Canavalia brasiliensis* e palha de milho pós colheita no proporção de 2,0% m/m.

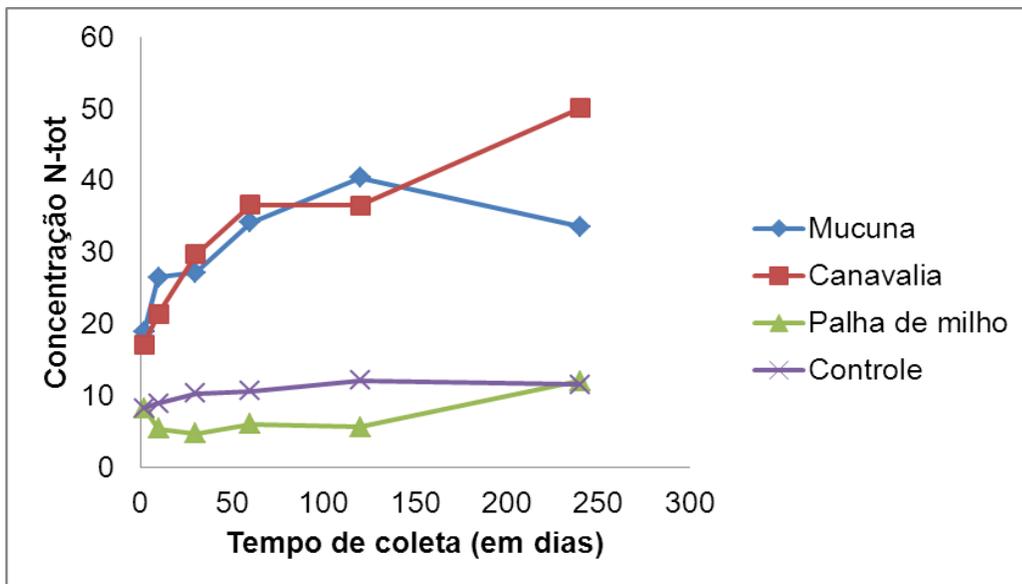


Gráfico 14: Concentração de nitrogênio total mineral no solo da mata pela adição dos resíduos vegetais de *Mucuna Cinereum*, *Canavalia brasiliensis* e palha de milho pós colheita no proporção de 5,0% m/m.

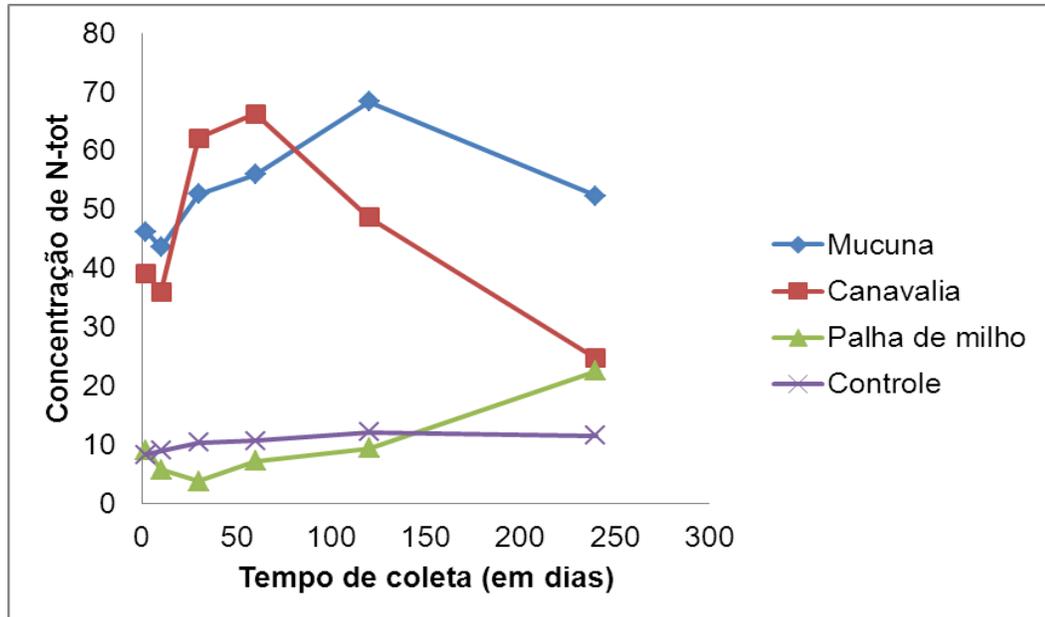


Gráfico 15: Concentração de nitrogênio total mineral no solo cultivado pela adição dos resíduos vegetais de *Mucuna Cinereum*, *Canavalia brasiliensis* e palha de milho pós colheita no proporção de 1,0% m/m.

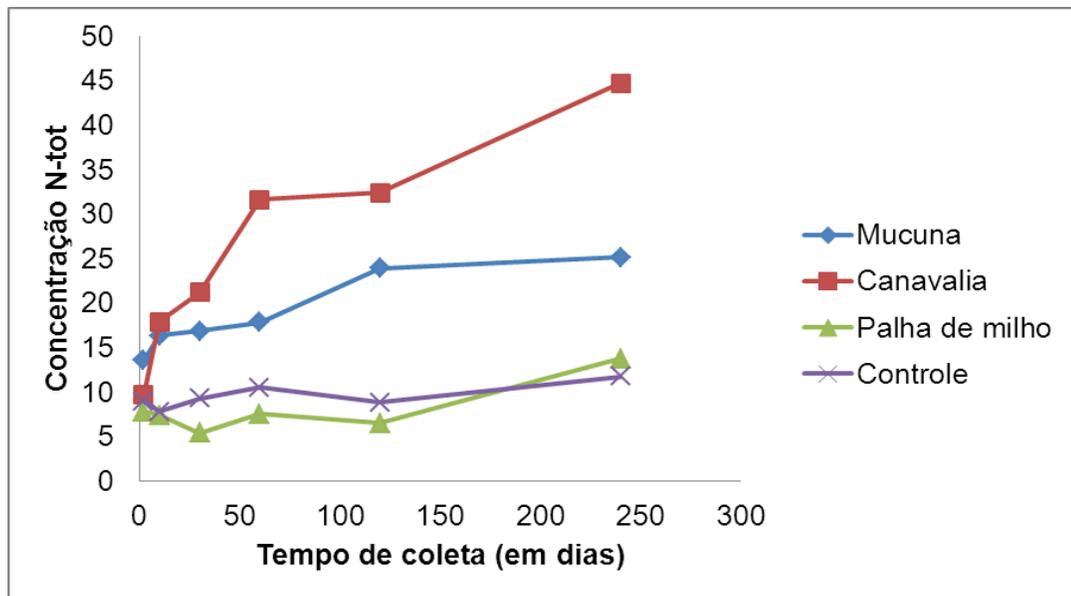


Gráfico 16: Concentração de nitrogênio total mineral no solo cultivado pela adição dos resíduos vegetais de *Mucuna Cinereum*, *Canavalia brasiliensis* e palha de milho pós colheita no proporção de 2,0% m/m.

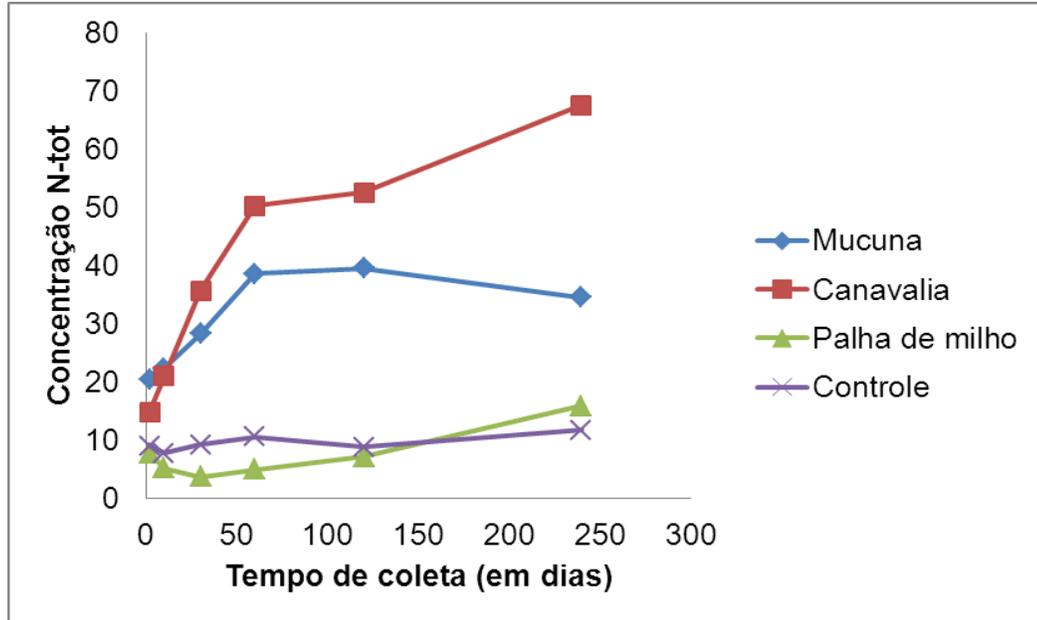


Gráfico 17: Concentração de nitrogênio total mineral no solo cultivado pela adição dos resíduos vegetais de *Mucuna Cinereum*, *Canavalia brasiliensis* e palha de milho pós colheita no proporção de 5,0% m/m.

