

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

ROBERTO KENDY HASSOBE

ANGELO MARIANO CHAN

**DIFERENTES DOSES DE VINHAÇA CONCENTRADA  
APLICADAS JUNTAMENTE COM UREIA E SEU IMPACTO  
NA VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA E EMISSÃO DE ÓXIDO  
NITROSO**

CAMPINAS/SP  
2022

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

ROBERTO KENDY HASSOBE

ANGELO MARIANO CHAN

**DIFERENTES DOSES DE VINHAÇA CONCENTRADA  
APLICADAS JUNTAMENTE COM UREIA E SEU IMPACTO  
NA VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA E EMISSÃO DE ÓXIDO  
NITROSO**

Trabalho de Graduação apresentado à Faculdade de Tecnologia de Campinas como pré-requisito para conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos, elaborado sob a orientação da Profa. Dra. Eliane Melo Brolazo e coorientado pela pesquisadora Beatriz Altarugio Galdini, do Instituto Agrônomo de Campinas.

CAMPINAS/SP  
2022

**FICHA CATALOGRÁFICA**  
**CEETEPS - FATEC Campinas - Biblioteca**

H355d

HASSOBE, Roberto Kendy

Diferentes doses de vinhaça concentrada aplicadas juntamente com ureia e seu impacto na volatilização de amônia e emissão de óxido nitroso. Roberto Kendy Hassobe e Angelo Mariano Chan – Campinas, 2022.

36 p.; 30 cm.

Trabalho de Graduação do Curso de Processos Químicos – Faculdade de Tecnologia de Campinas.

Orientador: Profa. Dra. Eliane Melo Brolazo.

1. Vinhaça. 2. Fertilizantes. 3. Volatilização. 4. Gases. I. Autor. II. Faculdade de Tecnologia de Campinas. III. Título.

CDD 664.7

Catálogo-na-fonte: Bibliotecária: Aparecida Stradiotto Mendes – CRB8/6553

TG PQ 22.1

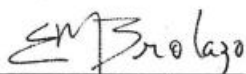
**Roberto Kendy Hassobe e Angelo Mariano Chan**

**Diferentes doses de vinhaça concentrada aplicadas juntamente com ureia e seu impacto na volatilização de amônia e emissão de óxido nitroso**

Trabalho de Graduação apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Processos Químicos, pelo CEETEPS / Faculdade de Tecnologia - Fatec Campinas.

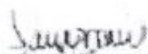
Campinas, 6/21/2022.

**BANCA EXAMINADORA**



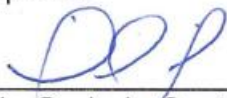
---

Eliane Melo Brolazo  
Fatec Campinas



---

Simone dos Santos Medeiros Lacerda  
FATEC Campinas



---

Luciene Maria Garbuio Castello Branco  
FATEC Campinas

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais Soraya Hitomi e Gilberto por toda educação e apoio fornecido durante minha jornada;

Ao meu irmão Shíndy por todos os conselhos e apoio durante os momentos difíceis;

Ao CNPq pela concessão da bolsa de iniciação científica;

À toda equipe do IAC e a FATEC/Campinas por todo suporte fornecido;

Às minhas coorientadoras Beatriz Galdini e Késia Lourenço por todos os conselhos e aprendizados passados;

Ao meu orientador Heitor Cantarella pela concessão do projeto;

À Eliane Melo Brolazo por ter aceitado o convite de orientação e por toda sua dedicação;

Ao Angelo Mariano Chan pela ajuda no trabalho e por toda força durante a faculdade.

À minha vó, dona Irene Mitiko Wu, que sempre me apoiou nos estudos;

À minha esposa Ana Letícia Pereira, que esteve ao meu lado o tempo todo;

Ao Roberto Kendy Hassobe pela parceria durante todo o curso;

Dedico essa graduação à minha mãe, Ma Hui Ping, ao meu cachorro Lion e a todos familiares, amigos e pessoas que contribuíram para essa realização.

Em memória de Chan Ta Pen, meu pai falecido.

## RESUMO

A aplicação conjunta de fertilizante mineral e vinhaça concentrada (VC) é uma nova estratégia para fertilização dos canaviais. Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar como essa aplicação conjunta influencia as perdas de N por volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ) e emissão de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). O experimento foi conduzido em casa de vegetação durante 85 dias. Os tratamentos foram 4 doses de VC (0, 10, 20 e 30  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ), e três tipos de fertilizantes (controle, ureia e solução de ureia mais nitrato de amônio-UAN) (dose total de 120  $\text{kg N ha}^{-1}$ ). As unidades experimentais consistiram de vasos com solo e palha na superfície, e câmaras para coleta de  $\text{NH}_3$  e  $\text{N}_2\text{O}$ . A volatilização de  $\text{NH}_3$  foi maior em tratamentos sem vinhaça, ureia e UAN, com perdas acumulada de 36,0% e 21,1% do N aplicado, respectivamente. Quando a ureia e UAN foram misturados a vinhaça, independente da dose, as perdas foram reduzidas em 8,6 (4,2%) e 8,9 vezes (2,34%). Contrariamente a volatilização de  $\text{NH}_3$ , as maiores perdas de  $\text{N}_2\text{O}$ , ocorreram nos tratamentos com VC, em média 4,53% e 0,75% para VC+N mineral e N mineral, respectivamente. Tratamentos com UAN e VC na dose de 20 $\text{m}^3$  (6,85%) e 10 $\text{m}^3$  (5,62%) tiveram as maiores perdas. Mas independente da dose de VC, as perdas por  $\text{N}_2\text{O}$  foram menores para o mineral puro (Ureia: 0.44% e UAN: 1.05%). A aplicação conjunta de VC mais fertilizante mineral é uma boa estratégia para reduzir a volatilização de  $\text{NH}_3$ , contudo aumenta as perdas por  $\text{N}_2\text{O}$ .

**Palavras-chave:** vinhaça, fertilizantes, volatilização, gases.

## **ABSTRACT**

The recently acquired practice of applying mixed nitrogen fertilizers to vinasse has the potential to influence the volatilization of ammonia ( $\text{NH}_3$ ) and the emission of greenhouse gases such as nitrous oxide ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Therefore, the objective of this work was to evaluate how the joint application of concentrated vinasse (VC) and mineral N influences N losses in the form of  $\text{NH}_3$  and  $\text{N}_2\text{O}$ . The experiment was carried out in a greenhouse for 85 days. The treatments were 4 doses of VC (0, 10, 20 and  $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), and three types of fertilizers (control, urea and UAN), with 4 replications. The nitrogen (N) rate applied was  $120 \text{ kg ha}^{-1}$ . Each experimental unit consisted of a pot with soil and straw on the surface, with two chambers, one for  $\text{NH}_3$  collection, and another for  $\text{N}_2\text{O}$ . For ammonia volatilization, the treatments without vinasse, urea and UAN, showed the highest daily losses, and the application of pure urea had the highest accumulated emission (36.0% N applied), while the treatment VC  $30 \text{ m}^3$  Urea decreased the N losses (0.42% N applied). The lowest accumulated emission was observed in the VC  $30 \text{ m}^3$  UAN treatment (0.39% N applied). For the emission of  $\text{N}_2\text{O}$ , the VC  $20 \text{ m}^3$  UAN treatment had the highest accumulated emission (7.16% N applied), while the lowest emission was observed in the VC  $30 \text{ m}^3$  Urea treatment (1.35% N applied), which can be justified by the infiltration of vinasse into the soil and the consequent carbon (C) available to soil microorganisms and the type of fertilizer used.

**Keywords:** vinasse, fertilizers, volatilization, gases.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Câmaras de gás e volatilização 1.....	20
<b>Figura 2</b> - Câmaras de gás e volatilização 2.....	20
<b>Figura 3</b> - Dispositivo para aprisionar amônia volatilizada da ureia aplicada sob condições de campo .....	21
<b>Figura 4</b> - Área de palhada .....	22
<b>Figura 5</b> - Solo tratado.....	23
<b>Figura 6</b> - Perdas diárias de N por volatilização de amônia (a) e acumulado de perdas de N em porcentagem (b).....	26
<b>Figura 7</b> - Acumulado da emissão de NH <sub>3</sub> em 85 dias de experimento. ....	27
<b>Figura 8</b> - Perdas diárias de N por emissão de óxido nitroso .....	29
<b>Figura 9</b> - Acumulado da emissão de N <sub>2</sub> O em 85 dias de experimento. ....	29



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Análise química de vinhaça concentrada coletada na Usina Iracema. ....	23
<b>Tabela 2</b> - Perdas acumuladas de N por volatilização de amônia.....	28
<b>Tabela 3</b> - Perdas acumuladas de N por volatilização de óxido nitroso .....	30

## LISTA DE SÍMBOLOS

pH: Potencial de hidrogênio

DQO: Demanda Química de Oxigênio

N: Nitrogênio

ATP: Adenosina trifosfato

NADH: Nicotinamida adenina dinucleotídeo

NADPH: Nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato

P: Fósforo

K: Potássio

N<sub>2</sub>O: Óxido nitroso

VC: Vinhaça concentrada

NH<sub>3</sub>: Amônia

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: Amônio

KCl: Cloreto de potássio

H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>: Ácido Fosfórico

U: Ureia

UAN: Solução aquosa de ureia e nitrato de amônio

NaOH: Soda cáustica

CC: Capacidade de campo

C: Carbono

GEE: Gases de efeito estufa

CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono

CH<sub>4</sub>: Metano

CFCs: Clorofluorcarbonetos

HCFCs: Hidroclorofluorcarbonetos

PFCs: Perfluorcarbonetos

SF<sub>6</sub>: Hexafluoreto de enxofre

NO<sub>2</sub><sup>-</sup>: Nitrito

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: Nitrato

CaCl<sub>2</sub>: Cloreto de cálcio

RPM: Rotação por minuto

MgO: Óxido de magnésio

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: Ácido Sulfúrico

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	12
1.2	JUSTIFICATIVA .....	13
1.3	OBJETIVOS .....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	CANA DE AÇÚCAR E VINHAÇA .....	14
2.2	VINHAÇA CONCENTRADA (VC) .....	15
2.3	NITROGÊNIO E FERTILIZANTES .....	16
2.4	GASES DO EFEITO ESTUFA .....	17
2.5	ÓXIDO NITROSO .....	18
3	METODOLOGIA .....	19
3.1	CÂMARAS DE VOLATILIZAÇÃO E GEES .....	20
3.2	PALHA .....	22
3.3	SOLO E VINHAÇA .....	22
3.4	ANÁLISE DE ÓXIDO NITROSO.....	24
3.5	UMIDADE, PH E NITROGÊNIO MINERAL DO SOLO.....	24
4	RESULTADOS .....	25
4.1	VOLATILIZAÇÃO DE NH <sub>3</sub> .....	25
4.2	EMIÇÃO DE ÓXIDO NITROSO .....	28
5	COSIDERAÇÕES FINAIS .....	30
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	31

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Walter *et al.* (2011), o Brasil é o segundo maior produtor de etanol do mundo, somando valores de 25 bilhões de litros por ano. A colheita da cana atualmente é mecanizada, e neste sistema a quantidade de palha que resta na superfície é muito grande, variando de 10 a 20 t ha<sup>-1</sup> (CARVALHO *et al.*, 2017). A alta quantidade de palha acaba limitando a incorporação dos fertilizantes ao solo, aumentando suas perdas, principalmente a de nitrogênio por volatilização de amônia (OTTO *et al.*, 2017). Outra questão muito importante em relação aos impactos negativos do cultivo intensivo da cana é a vinhaça, um subproduto das indústrias de etanol, que quando descartada de forma inadequada, produz muitos impactos ambientais negativos, principalmente em corpos d'água.

A vinhaça de cana-de-açúcar é um resíduo da indústria sucroalcooleira, caracterizado por ser uma suspensão ácida, alto valor de DQO, odores desagradáveis e coloração marrom escura (Jiang *et al.*, 2012; Christofolletti *et al.*, 2013), também é caracterizada como matéria-prima rica em compostos fenólicos e melanoidinas (FitzGibbon *et al.*, 1998). De acordo com Cortez *et al.* (1992), em média 10-15 L de vinhaça são gerados para cada litro de etanol, dependendo do equipamento utilizado na destilação. Ele contém nutrientes como nitrogênio (até 4,2 g /L), fósforo (até 3,0 g/L) ou potássio (até 17,5 g/L). Também pode ser considerado um subproduto valioso para várias aplicações, como fertilizante agrícola, condicionador de solo, aditivo de controle de pragas e meio cultural para produção de biomassa microbiana (HOARAU *et al.*, 2018, p. 17). A principal utilização da vinhaça é como fertilizante através da irrigação dos campos.

O nitrogênio (N) é considerado elemento essencial para as plantas, pois está presente na composição das mais importantes biomoléculas, tais como ATP, NADH, NADPH, clorofila, proteínas e inúmeras enzimas (MIFLIN & LEA, 1976; HARPER, 1994). Normalmente, menos de 50% do nitrogênio aplicado sob a forma de fertilizante é utilizado pelas culturas. As perdas no solo são devido aos inúmeros processos aos quais o nitrogênio está sujeito. O nitrogênio é perdido principalmente pela lixiviação de nitrato, volatilização de amônia e emissão de nitrogênio (N<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e outros óxidos de nitrogênio (ANGHINONI, 1986). Assim, estudos precisam ser aprimoradas em relação aos impactos desse tipo de aplicação nas emissões de óxido de nitrogênio e volatilização de amônia (NH<sub>3</sub>), também como diferentes

volumes de vinhaça podem afetar a produção desses gases. Portanto, pesquisas utilizando diferentes doses de vinhaça concentrada são necessários.

O óxido nitroso é um gás muito poluente com potencial de aquecimento quase 300 vezes maior que o gás carbônico, além de ser nocivo para a camada de ozônio (IPCC, 2007; RAVISHANKARA *et al.*, 2009), além de também ser uma fonte de perdas de nitrogênio, emitido com a nitrificação e desnitrificação microbiana que depende de fatores como temperatura, pH, retenção de água, disponibilidade de carbono, sendo que maiores quantidades de água e de C, maiores serão a emissão desse gás. Portanto, é importante entender fatores que aumentam sua emissão, para evitar não só perdas de nitrogênio, mas principalmente diminuir a volatilização de N<sub>2</sub>O.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

Na agricultura, os fertilizantes mais importantes são o NPK, denominados como macronutrientes primários: Nitrogênio (N); Fósforo (P) e Potássio (K). Para o abastecimento da população mundial, demanda-se muito alimento e energia, e conseqüentemente, maior uso dos solos agrícolas, assim é necessário criar um ambiente ideal para o crescimento das plantas com esses nutrientes. Somando-se a importância dos fertilizantes, há uma preocupação envolvendo a sustentabilidade, onde o crescimento do cultivo da cana-de-açúcar, impulsionado pela demanda global por energia renovável, está causando preocupação com a sustentabilidade (SIQUEIRA; FRANCO, 1988). Mas, de acordo com Barbosa (2007), a agroindústria canavieira moderna é conceitualmente muito favorável à sustentabilidade, sendo ao aproveitamento de resíduos e efluentes, principalmente vinhaça, extremamente importante para atingir tal condição. Então, para se ter um aumento da eficiência do solo, com menos volatilização de amônia, e menos poluição, com menor emissão de óxido nitroso, estudos envolvendo a vinhaça é importante.

## **1.3 OBJETIVOS**

Avaliar como a aplicação conjunta de vinhaça concentrada e fertilizantes minerais influencia as perdas de N por volatilização de amônia (NH<sub>3</sub>) e emissão de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CANA DE AÇÚCAR E VINHAÇA

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com quase 5 milhões de hectares de área cultivada (Bassanta *et al.*, 2003), em média 13 litros de vinhaça são gerados para cada litro de etanol. Também conhecida como água residual da destilaria, a vinhaça tem um aspecto de água marrom com alta resistência, seu conteúdo orgânico pode ser 100 vezes maior do que os encontrados no esgoto doméstico, também tem características ácidas e corrosivas e com uma considerável concentração de macronutrientes e micronutrientes (ESPANA-GAMBOA *et al.*, 2011), (FUESS; GARCIA, 2013). Segundo Gamboa *et al.* (2011) a intensa cor marrom da vinhaça está relacionada a reação de Mailard, com associação a melanoidinas, em que há interação entre açúcares e proteínas e também de caramelos de açúcares aquecidos.

De acordo com Laime *et al.* (2001), algumas alternativas para se aproveitar a vinhaça de cana-de-açúcar pode ser a reciclagem através da fermentação e da fertirrigação que é usada em grande escala, entretanto, alternativas como: combustão da vinhaça, produção de fermento, construção civil, produção de ração para gado, digestão anaeróbica, incineração entre outros, estão em diferentes estágios de desenvolvimento e pesquisa. Dessa forma, entre as alternativas de aproveitamento da vinhaça desenvolvidas ao redor do mundo, a fertirrigação é a mais usada, pois o investimento inicial é mais baixo (tubos, bombas, caminhões e tanques de decantação), o custo de manutenção é menor, a aplicação é rápida, não necessita de tecnologias muito complexas, além de aumentar o rendimento da colheita (Camargo *et al.*, 2009), (Santana; Machado, 2008). A fertirrigação consiste na infiltração da vinhaça crua no solo por irrigação da cultura da cana-de-açúcar (Camargo *et al.*, 2009).

Porém, a aplicação direta da vinhaça no solo pode ter muitos efeitos negativos, pode causar salinização, lixiviação de metais presentes no solo, contaminar águas subterrâneas, desequilibrar nutrientes causando mudanças na qualidade do solo, portanto, alguns parâmetros ambientais precisam ser considerados na fertirrigação, como: o tipo de solo, distância de corpos d'água, porcentagem da capacidade de campo de sais do solo (retenção de água) (LAIME *et al.*, 2011).

No estado de São Paulo, o “Protocolo Ambiental”, uma iniciativa da Secretaria de Agricultura e Abastecimento e União da Indústria de Cana-de-Açúcar proibiu a queima da cana

de açúcar (Lei Estadual nº 11.241 de 19 de setembro de 2002). A adoção da colheita mecanizada em substituição ao uso do fogo implica numa deposição média de 14 toneladas de massa seca (palha) na superfície do solo (PAES; OLIVEIRA, 2005).

## 2.2 VINHAÇA CONCENTRADA (VC)

A concentração de vinhaça de cana-de-açúcar por meio do processo de evaporação é uma alternativa para o seu aproveitamento. No processo de concentração, o volume da vinhaça é reduzido, consequência da perda de água desta (sem perdas de sólidos). Este processo pode reduzir os custos com transporte em caminhões-tanque, aumentando o raio de aplicação da vinhaça, onde a fertirrigação em dutos é inviável (ANA, 2009). Assim, a produção de vinhaça concentrada é uma opção para reduzir o volume sem perder de nutrientes, possibilitando transportar para longas distâncias (CHRISTOFOLETTI *et al.*, 2013).

A aplicação de vinhaça pode ser benéfica ou não para o solo, quando depositada no solo, a vinhaça de cana-de-açúcar pode melhorar a fertilidade; mas não deve exceder a capacidade de retenção de íons do solo (NEVES *et al.*, 1983), (PRATA *et al.*, 2001), (RAMALHO; SOBRINHO, 2001). Dessa forma as dosagens devem ser determinadas com base nas características de cada solo, devido às suas quantidades desequilibradas de minerais e elementos orgânicos, e pode ocorrer lixiviação de íons, especialmente nitrato e potássio (SILVA *et al.*, 2007). Estudos realizados por Camargo *et al.* (1983), Glória e Orlando Filho (1983), Laime *et al.* (2011) e Jiang *et al.* (2012) o uso de vinhaça de cana-de-açúcar tem relatado efeitos benéficos nas culturas e nas propriedades físico-químicas dos solos, uma vez que aumenta a retenção de umidade, porosidade, níveis de potássio e condutividade elétrica, além da atividade biológica. De modo geral, o uso da vinhaça proporciona vários benefícios para o solo, como: aumento momentâneo do pH e da capacidade de troca de cátions, aumento da comunidade e da atividade microbiana, e melhorias na estrutura do solo (SILVA *et al.*, 2007). A entrada de C e N orgânico presentes na vinhaça favorecem o aumento da atividade microbiana (NAVARRETE *et al.*, 2015a), podendo levar à redução do oxigênio (O<sub>2</sub>) presente no solo e nas águas subterrâneas alterando os processos biogeoquímicos, beneficiando as condições de anaerobiose, causando altas emissões de N<sub>2</sub>O via desnitrificação (CARMO *et al.*, 2013), (NAVARRETE *et al.*, 2015a), (PITOMBO *et al.*, 2015).



### 2.3 NITROGÊNIO E FERTILIZANTES

As doses recomendadas de nitrogênio são de 120 kg/ha, mas devido a mudanças nas legislações ambientais a colheita tornou-se mecanizada, isto sobrecarrega a superfície do solo de palhas, provenientes da cana de açúcar. A alta quantidade de palha acaba limitando a incorporação dos fertilizantes ao solo, aumentando suas perdas, principalmente a de N por volatilização de amônia (OTTO, R. *et al.*, 2017), pois acabam ficando retidas na superfície. O mesmo ocorre com fertilizantes, como a ureia, que se perde em forma de volatilização de amônia, resultando em maior impacto financeiro e menos eficiência do fertilizante.

A quantidade de N perdida por volatilização de  $\text{NH}_3$  é de 20 a 30%, na média, podendo chegar a valores extremos de até 78% do N aplicado (Cantarella *et al.*, 2008; 2009; Lara Cabezas *et al.*, 1997).

Uma das alternativas para diminuir as perdas de fertilizantes é o uso do UAN, uma solução de ureia e nitrato de amônio em meio aquoso, a fração da ureia é a parte que está sujeita a perdas, já o nitrato de amônio não está, o que pode diminuir essas perdas. Então, é uma fonte capaz de aumentar a incorporação de nitrogênio no solo por se tratar de uma solução aquosa, a água possibilita a movimentação de nutrientes na solução do solo até uma certa profundidade, reduzindo perdas por volatilização (COELHO, 1994).

O nitrogênio é um dos nutrientes mais limitantes no solo e um dos mais requeridos pelas plantas cultivadas, para elevar a produção e o índice de colheita. A principal fonte de nitrogênio utilizada no Brasil é a ureia, que apresenta como vantagens a alta concentração de N e o menor preço de N por unidade. Possui, ainda, alta solubilidade, menor corrosividade e compatibilidade com muitos fertilizantes. Contudo, apresenta desvantagens, como a possibilidade de perdas de nitrogênio por volatilização de amônia, fitoxidez de biureto e perdas por lixiviação (CANTARELLA, 2007).

A perda do nitrogênio pode ocorrer quando o solo apresenta pH alcalino, baixa capacidade de troca de cátions, baixa capacidade tampão do hidrogênio, alta temperatura, baixa umidade e altas doses de nitrogênio, ou pela ação conjunta de dois ou mais destes fatores (OLIVEIRA; BALBINO, 1995). Isto, em parte, ocorre por meio dos processos de lixiviação do nitrato, volatilização da amônia, desnitrificação e erosão do solo.

A volatilização é a perda de nitrogênio em formato de compostos gasosos, que ocorre em diversas situações, o que pode levar a uma baixa eficiência dos fertilizantes nitrogenados, principalmente em meio alcalino e quando aplicados em superfície (SOUSA; LOBATO 2004).

A ureia representa 65% do N total consumido na agricultura mundial (IFA, 2014). Em relação a ureia, as perdas de NH<sub>3</sub> podem chegar a quase 80%, com a aplicação superficial no plantio direto, e 30%, no plantio convencional, e a incorporação em, aproximadamente, 5,0-7,0 cm de profundidade no solo reduz, drasticamente, as perdas de amônia (Lara Cabezas, 1998).

Quando a ureia é aplicada na superfície do solo e não é incorporada, fica vulnerável por perdas de nitrogênio por volatilização em forma de amônia (SANGOI *et al.*, 2003), (ROCHETTE *et al.*, 2009<sup>a</sup>), (LARA CABEZAS *et al.*, 1997).

Depois de aplicado no solo, a ureia [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] é hidrolisada pela enzima urease, formando carbonato de amônio, como na reação:



O (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> decompõem-se muito rápido, formando amônio, hidroxila e bicarbonato:



Isso implica na elevação do pH ao redor dos grânulos do fertilizante (Ernani *et al.*, 2001; Rochette *et al.*, 2009b)”. Portanto, uma fração do amônio se perde na forma de NH<sub>3</sub> se a ureia não for incorporada no solo (Rochette *et al.*, 2009a; Sangoi *et al.*, 2003).

Então, baixos teores de matéria orgânica, reduz capacidade de troca de cátions (Sangoi *et al.*, 2003) e baixa umidade no solo (Liu *et al.*, 2007), assim como altas doses de N aplicado (Ma *et al.*, 2010), alta temperatura (Clay *et al.*, 1990), valores elevados de pH (Sengik *et al.*, 2001) e maior presença de cobertura vegetal (Rochette *et al.*, 2009c), favorecem a volatilização da NH<sub>3</sub> a partir da aplicação de ureia sobre a superfície do solo. De acordo com Rochette *et al.*, (2009a) entretanto, a incorporação do fertilizante ao solo diminui muito esse tipo de perda.

#### 2.4 GASES DO EFEITO ESTUFA

São considerados gases de efeito estufa (GEE) o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), clorofluorcarbonetos (CFCs), hidroclorofluorcarbonetos (HCFCs), perfluorcarbonetos (PFCs), hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>) e o vapor d’água (FORSTER *et al.*,

2007). Os mais importantes são: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, sendo o último com mais destaque. Segundo o IPCC (2007), a temperatura da Terra se elevou em cerca de 0,74°C entre 1906 a 2005 como consequência do aumento da concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), considerados os principais GEE emitidos pelas atividades antrópicas.

Cerca de 77% das emissões antrópicas mundiais de GEE em 2004 foram atribuídas ao CO<sub>2</sub>, enquanto que as participações do CH<sub>4</sub> e do N<sub>2</sub>O atingiram 14% e 8%, respectivamente (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC, 2007).

## 2.5 ÓXIDO NITROSO

O N<sub>2</sub>O é emitido por ação antrópica ou por processo natural, fontes naturais (solos de vegetação nativa, oceanos e atmosfera) são responsáveis por cerca de 62% das emissões deste GEE, já os 38% restantes são resultantes das atividades antrópicas, na qual a agricultura é a principal fonte e representa 41,8% da emissão. Os solos com vegetação natural são responsáveis pela maior emissão global de N<sub>2</sub>O, contribuindo com 37,3% da emissão total, enquanto a agricultura participa com 15,8% (DENMAN *et al.*, 2007).

Através do ciclo do nitrogênio, N<sub>2</sub> pode ser fixado biologicamente por microrganismos, sendo convertido em amônio



Na nitrificação, o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> é oxidado a nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) pela ação das bactérias *Nitrosococcus* sp., *Nitrosospira* sp. e *Nitrosomonas* sp.. Na nitratação, o NO<sub>2</sub><sup>-</sup> é oxidado a NO<sub>3</sub><sup>-</sup> pelas bactérias *Nitrococcus* sp., *Nitrospira* sp. e *Nitrobacter* sp (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).



O acúmulo de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> no solo devido principalmente às condições anaeróbicas resulta no uso do NO<sub>2</sub><sup>-</sup> por bactérias nitrificadoras comoceptor final de elétrons e na formação de NO e N<sub>2</sub>O (KHALIL *et al.*, 2004; SNYDER *et al.*, 2009).



### 3 METODOLOGIA

Para avaliar como diferentes doses de vinhaça influenciam na volatilização de  $\text{NH}_3$  e emissão de  $\text{N}_2\text{O}$ , foi conduzido um experimento em casa de vegetação. Os tratamentos foram:

- 1) Controle
- 2) U (ureia);
- 3) UAN;
- 4) 10 m<sup>3</sup> VC;
- 5) 20 m<sup>3</sup> VC;
- 6) 30 m<sup>3</sup> VC;
- 7) 10m<sup>3</sup> VC + U;
- 8) 20m<sup>3</sup> VC + U;
- 9) 30m<sup>3</sup> VC + U;
- 10) 10m<sup>3</sup> VC + UAN;
- 11) 20m<sup>3</sup> VC + UAN;
- 12) 30 m<sup>3</sup> VC + UAN.

A amostra de controle contém solo, palha e água. Todas as doses de ureia e UAN foram de 120 Kg N há<sup>-1</sup>. O solo foi coletado em uma área da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) em que há plantação de cana-de-açúcar a mais de 30 anos. O sistema de coleta de  $\text{NH}_3$  foi feita por esponjas embebidas em ácido fosfórico, sendo dois discos de esponja por câmara. Para a extração do fosfato de amônio formado, cada esponja foi feita em solução de KCl 1,0 molL<sup>-1</sup>, e após 1h30 min em repouso foram espremidas manualmente para a retirada da solução que foi analisado por destilação a vapor. Foram retiradas amostras compostas de solo dos vasos ao decorrer do experimento para avaliação dos teores de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  do solo, pH e umidade.

Para a coleta de gás, foi realizado após a aplicação da vinhaça e fertilizantes em todos os dias na primeira semana, e em dias alternados a partir da segunda semana, até a estabilização dos fluxos dos gases. Assim, a análise foi feita em cromatógrafo gasoso próprio para gases do efeito estufa, Shimadzu modelo GC-2014. Os resultados das concentrações serão comparados por meio de valores médios e erro padrão, sendo que a emissão acumulada dos gases será submetida à ANOVA e às médias comparadas. Os resultados serão submetidos à análise de variância, sendo comparadas as médias pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

### 3.1 CÂMARAS DE VOLATILIZAÇÃO E GEES

O ensaio foi conduzido em vasos com capacidade para 22,0 litros (0,42 m de diâmetro), utilizando aproximadamente 15 kg de solo seco, simulando a camada de 0,00 – 0,20 m do solo. Dentro de cada vaso, foram instaladas uma câmara para coleta de  $\text{NH}_3$  (0,20 m diâmetro; 0,2 m de altura) e uma câmara de gás (0,05 m de diâmetro; 0,15 m de altura), seguindo a metodologia descrita por Cantarella *et al.* (2003). A câmara de  $\text{NH}_3$  e gases do efeito estufa foram aplicadas a 0,05 m da superfície, obtendo uma altura final de 0,15 m e 0,10 m, respectivamente para cada câmara (Figura 1 e 2).

**Figura 1** - Câmaras de gás e volatilização 1



Fonte: Autoria própria (2021)

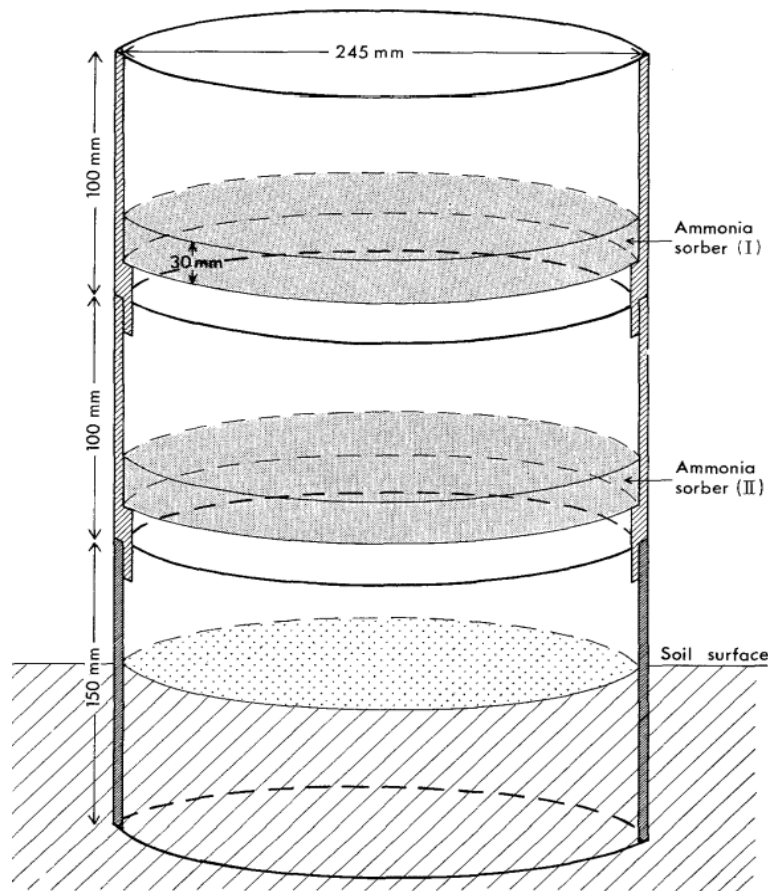
**Figura 2** - Câmaras de gás e volatilização 2



Fonte: Autoria própria (2021)

A metodologia utilizada para coleta de  $\text{NH}_3$  foi como a descrita por Nõmmik (1973), onde um disco absorvedor de amônia II (Figura 3) teve a função de absorver a amônia volatilizada do solo, e o disco I serviu para impedir a contaminação do sistema interno com a amônia atmosférica. Após períodos fixos de exposição, o disco absorvedor de amônia II foi removido e substituído por um novo recarregado com ácido fosfórico e glicerina.

**Figura 3** - Dispositivo para aprisionar amônia volatilizada da ureia aplicada sob condições de campo



Fonte: Nõmmik (1973)

A quantidade de nitrogênio aplicada foi de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$ , dose recomendada para os canaviais no estado de São Paulo. Tratamentos que receberam N via vinhaça, a quantidade presente na vinhaça foi descontada do fertilizante mineral aplicado, na forma de ureia e UAN e que foram misturados a vinhaça. A ureia encontrava-se na forma de grânulos e foi pesada em balança analítica com precisão de 0,1 mg. Posteriormente, os fertilizantes foram aplicados na superfície do solo e fez-se uma distribuição uniforme sobre toda a superfície.

O experimento foi conduzido por 90 dias – 18/10/2021 a 15/01/2022. Chuvas de 4mm foram simuladas nas primeiras 4 semanas de experimento e após 4 semanas, a umidade do solo foi mantida a 60% da capacidade de campo. As esponjas foram embebidas em 90 ml de solução de glicerina e ácido fosfórico e colocadas nas câmaras de volatilização. No início do experimento as esponjas eram retiradas a cada 24h, com a diminuição da emissão de  $\text{NH}_3$

passaram a ser retiradas uma vez na semana, até o encerramento do experimento. Assim que retiradas das câmaras, adicionava-se 410 ml de solução KCl 1 mol/L em cada esponja, após 1h30 a solução era extraída e armazenada em tubos Falcon. A concentração de amônia volatilizada foi determinada por destilação a vapor como proposto em Cantarella & Trivelin (2001).

### 3.2 PALHA

Foram simuladas a área de palhada (Figura 4), onde fertilizantes nitrogenados, como a ureia, estão suscetíveis a maiores perdas atmosféricas na forma de  $\text{NH}_3$  e  $\text{N}_2\text{O}$ , devido a sua retenção nessa superfície, dificultando a penetração no solo. Portanto, a dose de palha na superfície do solo foi de  $12 \text{ t ha}^{-1}$ , sendo para câmara de gás, volatilização e área externa de 2,6 g; 41,18 g e 71,95 g respectivamente.

**Figura 4** - Área de palhada



Fonte: Autoria própria (2021)

### 3.3 SOLO E VINHAÇA

O solo foi coletado em uma área da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) em que há histórico de plantação de cana-de-açúcar a mais de 30 anos, o solo foi homogeneizado, seco ao ar, destorroado e peneirado em malha de 2 mm (Figura 5), e caracterizado quanto à fertilidade segundo a metodologia de Van Raij *et al.*, (2001).

A vinhaça concentrada utilizada para o experimento foi coletada na Usina Iracema – Grupo São Martinho e sua análise química foi realizada pelo Departamento de Ciência do Solo- Laboratório de Fertilidade, Corretivos e Subprodutos pertencente a Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"- ESALQ.

**Figura 5** - Solo tratado



Fonte: Autoria própria (2021)

**Tabela 1** - Análise química de vinhaça concentrada coletada na Usina Iracema.

Determinação	Vinhaça Concentrada
<b>pH</b>	4,3
<b>Densidade</b>	1,05 g L <sup>-1</sup>
<b>M.O.</b>	69,24 g L <sup>-1</sup>
<b>Carbônico Orgânico (C.O.)</b>	38,47 g L <sup>-1</sup>
<b>Resíduo Mineral + Orgânico (R.M.O.)</b>	106,85 g L <sup>-1</sup>
<b>Resíduo Mineral Total (R.M.T.)</b>	37,61 g L <sup>-1</sup>
<b>Resíduo Mineral Insolúvel (R.M.I.)</b>	0,74 g L <sup>-1</sup>
<b>Resíduo Mineral Solúvel (R.M.S.)</b>	36,87 g L <sup>-1</sup>
<b>Nitrogênio Total</b>	3,29 g L <sup>-1</sup>
<b>Fósforo Total</b>	0,41 g L <sup>-1</sup>
<b>Potássio Total</b>	14,75 g L <sup>-1</sup>
<b>Cálcio Total</b>	2,4 g L <sup>-1</sup>
<b>Magnésio Total</b>	1,26 g L <sup>-1</sup>
<b>Enxofre Total</b>	3,74 g L <sup>-1</sup>

Fonte: Laboratório de Fertilidade, Corretivos e Subprodutos, ESALQ



### 3.4 ANÁLISE DE ÓXIDO NITROSO

Nos dias de coleta de gases de efeito estufa, as câmaras foram hermeticamente fechadas e, com o auxílio de uma seringa de nylon, 30 ml de gás foram coletados aos 0, 15 e 30 minutos. As coletas de gases aconteceram diariamente durante as primeiras 7 semanas, e posteriormente três vezes na semana até a estabilização das emissões. Os gases foram analisados no laboratório de cromatografia gasosa no Instituto Agronômico de Campinas (IAC). O equipamento utilizado é um cromatógrafo, Shimadzu, modelo GC – 2014, com determinação simultânea das concentrações de N<sub>2</sub>O mediante de detector ECD (de captura de elétrons) operando a 300°C e de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> por detector tipo FID (ionização de chama) operando a 250°C. Antes da realização das análises, foi necessário a calibração do cromatógrafo com os padrões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O em concentrações conhecidas pré-determinadas pelo grupo de pesquisa do IAC.

Os resultados das concentrações dos gases foram plotados em gráficos gerando uma reta e equação linear, sendo o coeficiente angular da reta representando o fluxo dos gases por hora ( $\mu\text{mol mol}^{-1} \text{h}^{-1}$ ). Os fluxos serão corrigidos de acordo com a Lei dos gases perfeitos utilizando o volume da câmara, a pressão atmosférica e a temperatura medidas no momento da amostragem. A emissão acumulada dos gases será calculada através da interpolação linear entre os diferentes dias. O fator de emissão do N<sub>2</sub>O será calculado de acordo com Lourenço *et al.* (2019) utilizando a seguinte equação:

$$EF = \frac{N_{2O} - N_{tratamento} - N_{2O} - N_{controle}}{N_{aplicado} \times (vinhaça + fertilizante)} \times 100$$

Sendo que, N<sub>2</sub>O-N tratamento ( $\text{mg N m}^{-2}$ ) são as emissões cumulativas das câmaras fertilizadas e N<sub>2</sub>O-N controle ( $\text{mg N m}^{-2}$ ) das não fertilizadas, e N aplicado a quantidade de N adicionada à câmara como ureia ou UAN e vinhaça.

### 3.5 UMIDADE, PH E NITROGÊNIO MINERAL DO SOLO

Durante o período de condução e desinstalação do experimento, amostras de solo foram coletadas na lateral dos vasos, nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm, para determinação de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, pH e umidade presentes no solo. Para a análise do pH foi pesado 10g da amostra de solo de cada unidade experimental, e adicionado posteriormente, solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol/L com pH entre 5.0 – 5,5. A solução foi agitada por cerca de 10 minutos em um agitador

de 120 RPM e, posteriormente, foi realizada a decantação do material por 30 minutos. Logo após o período de decantação foi utilizado medidor de pH da marca Sensoglass SP1800.

Para determinação da concentração de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ , utilizou-se a destilação a vapor. Foram pesados 5g da amostra de solo de cada unidade experimental, posteriormente foram feitos os mesmos processos citados anteriormente, com a diferença no tempo de espera durante o processo de agitação, sendo de 1h. Em um balão de destilação (contendo saída lateral) adicionou-se 25mL da solução do sobrenadante, em seguida, adicionou-se 0,2 g de MgO. O material destilado foi recolhido em um béquer graduado de 50mL, este último continha, previamente, 5mL de solução de ácido bórico-indicador. Pela saída lateral do balão, acrescentou-se cerca de 0,2 g de liga de Devarda, e na sequência, ocorreu uma nova destilação a partir da qual ao vaporizar-se, uniu-se a uma nova solução com 5mL de ácido bórico-indicador já adicionado previamente em um béquer de 50mL. Posteriormente, foi realizada a titulação de neutralização, utilizou-se como titulante o  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,005 mol/L padronizado. O ponto final da titulação foi observado no momento da mudança da coloração de verde para rosa, indicando que o ponto de viragem foi alcançado.

A umidade foi determinada por meio do uso de frascos de vidro previamente pesados em balança analítica. Foram acrescentados 12 g de solo úmido e colocados em estufa à uma temperatura de 100 °C por aproximadamente 48 horas. Decorrido o período de secagem, os frascos foram pesados novamente para determinar a quantidade de água presente no solo. Para todas as análises foram realizadas amostras-controle.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 VOLATILIZAÇÃO DE $\text{NH}_3$

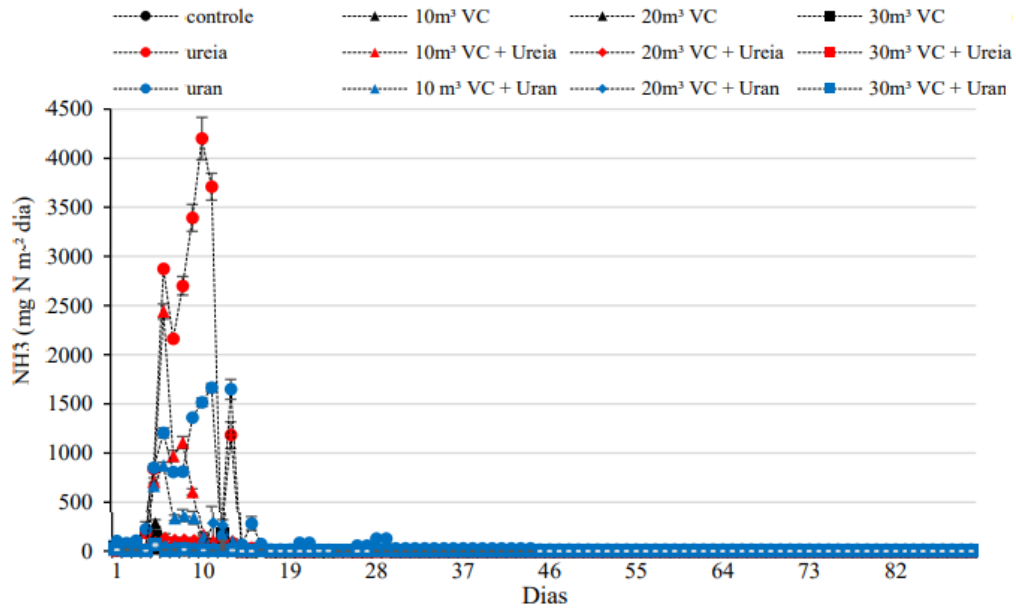
Os dados de volatilização de  $\text{NH}_3$  durante o período de 85 dias de experimento estão apresentados na figura 6.

Com o aumento do volume de vinhaça aplicado em conjunto com os fertilizantes minerais, houve diminuição das perdas de N por meio da volatilização. Os tratamentos sem vinhaça, ureia e UAN, apresentaram as maiores perdas diárias de N no decorrer do experimento, totalizando  $21,6\text{gm}^{-2}$  (36%) e  $12,83\text{gm}^{-2}$  (21,4%), respectivamente. A seguir, o tratamento  $10\text{m}^3$  VC + ureia apresentou perda acumulada de N de  $6,47\text{gm}^{-2}$  (10,8%), uma diminuição de perda 70% quando comparado a perda da ureia pura. O tratamento de  $10\text{m}^3$  VC + UAN apresentou

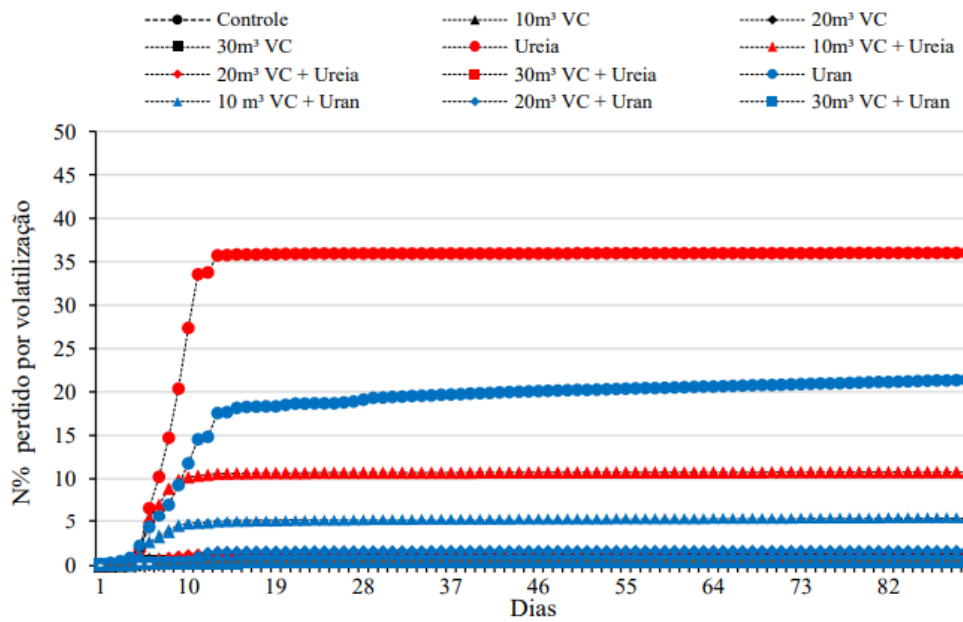
uma perda de N igual  $3,27\text{gm}^{-2}$  (5,45%), sendo uma diminuição de perda de 74,5% quando comparado as perdas do UAN puro (Figura 6).

**Figura 6** - Perdas diárias de N por volatilização de amônia (a) e acumulado de perdas de N em porcentagem (b).

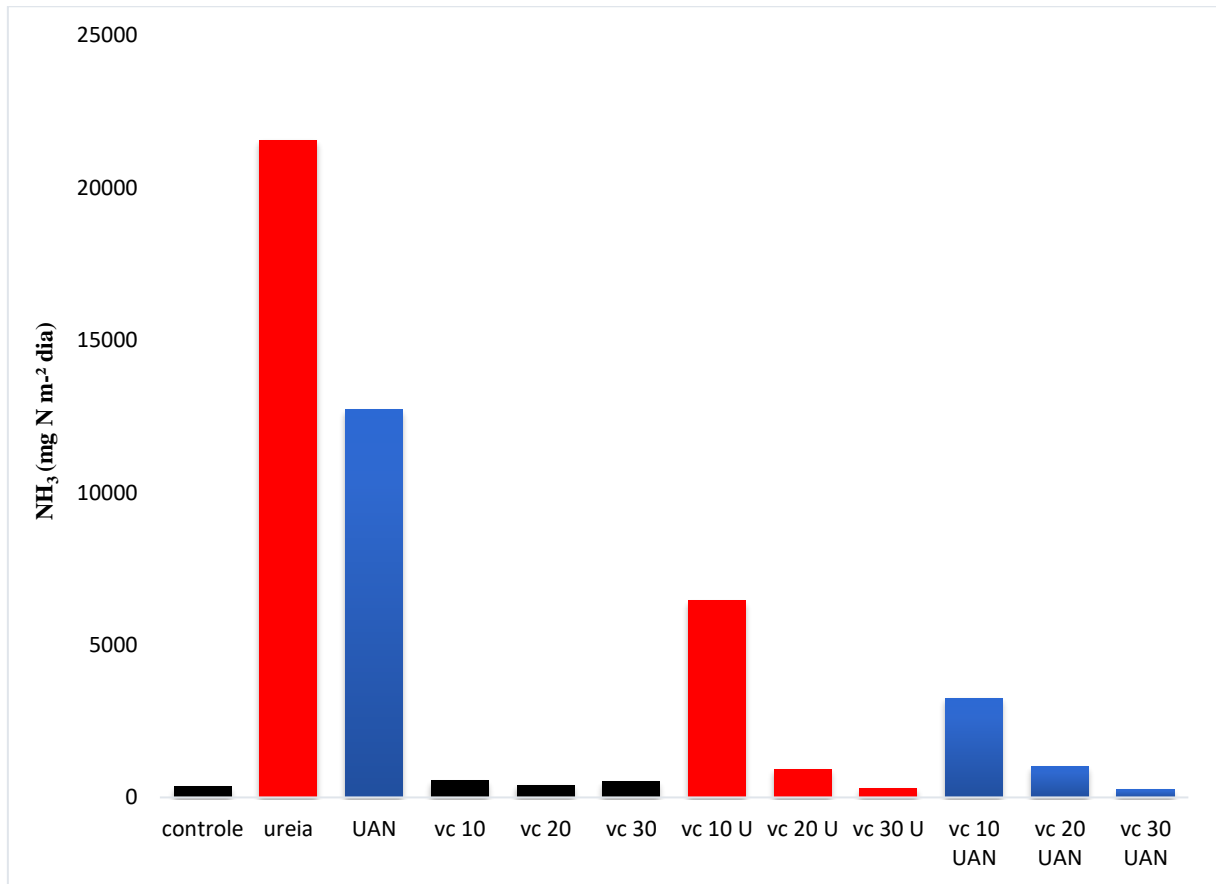
(a)



(b)



**Figura 7** - Acumulado da emissão de NH<sub>3</sub> em 85 dias de experimento.



Para os tratamentos 20m<sup>3</sup> VC + UAN e 20m<sup>3</sup> VC + ureia as perdas acumuladas foram ainda menores, sendo 1,02 gm<sup>-2</sup> (1,70%) e 0,94 gm<sup>-2</sup> (1,57%), respectivamente. As menores perdas foram observadas nos tratamentos 30m<sup>3</sup> VC + ureia e 30m<sup>3</sup> VC + UAN, a média de perda foi de 0,28gm<sup>-2</sup> (0,48%) o que representa uma diminuição de 98,7% em relação a aplicação da ureia pura e 97,8% em relação a aplicação do UAN puro (Tabela 2).

**Tabela 2** - Perdas acumuladas de N por volatilização de amônia

<b>Vinhaça Concentrada</b>	<b>Controle</b>	<b>Ureia</b>	<b>UAN</b>	<b>Média da dose</b>
<i>Nh<sub>3</sub> acumulada (N mg m<sup>-2</sup>)</i>				
0m <sup>3</sup>	188,30 Ca	21604,07 Aa	12672,50 Ba	11488,3 ± 6210 a
10m <sup>3</sup>	490,06 Ca	6425,50 Ab	3247,65 Bb	3387,7 ± 1715 b
20m <sup>3</sup>	286,76 Ba	883,18 Ac	730,77 ABc	633,6 ± 179 c
30m <sup>3</sup>	236,27 Aa	253,61 Ac	306,19 Ac	265,4 ± 21 d
Média do fertilizante	300,35 ± 77 C	7291,60 ± 5737 A	4221,80 ± 3331 B	
<i>% N volatilizado</i>				
0m <sup>3</sup>	-	36,01 Aa	21,12 Ba	28,56 ± 7,44 a
10m <sup>3</sup>	-	10,70 Ab	5,41 Bb	8,06 ± 2,64 b
20m <sup>3</sup>	-	1,48 Ac	1,22 Ac	1,35 ± 0,13 c
30m <sup>3</sup>	-	0,43 Ac	0,40 Ac	0,41 ± 0,01 d
Média do fertilizante	-	12,15 ± 11,71 A	7,03 ± 6,82 B	

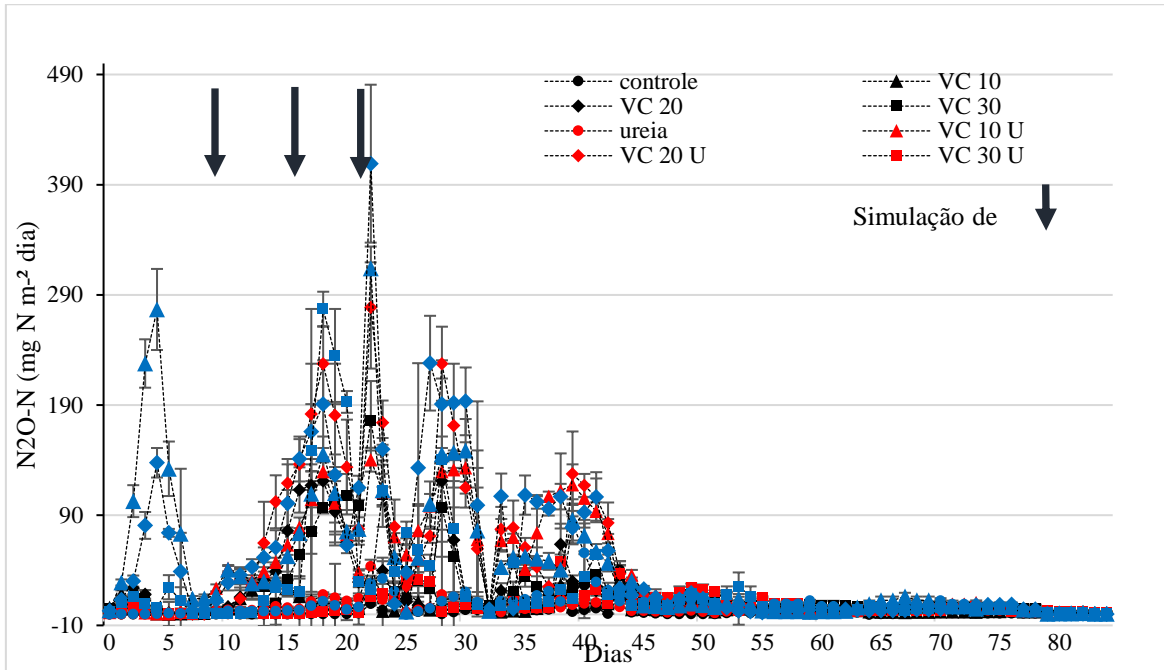
Resultados seguidos por letras iguais não diferiram significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ); Letras maiúsculas foram usadas para comparar fertilizantes dentro de cada uma das doses e letras minúsculas foram usadas para comparar doses de VC.

## 4.2 EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO

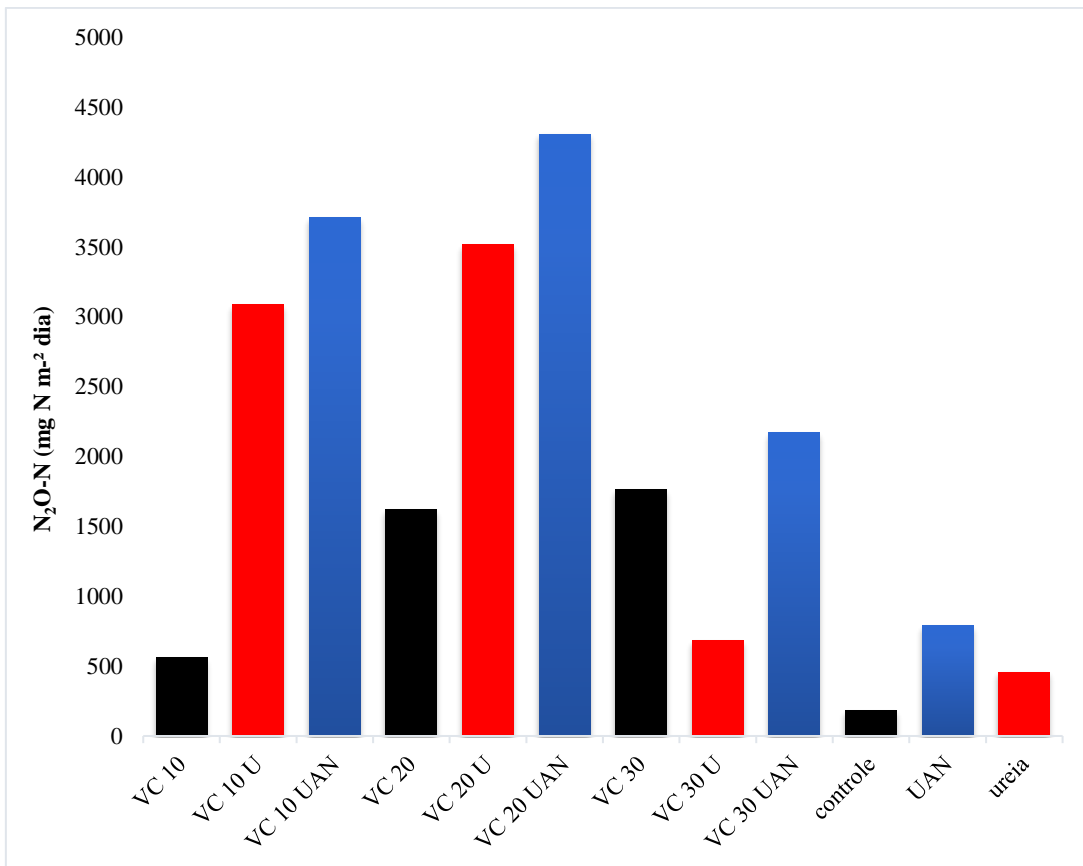
Em relação ao óxido nitroso, não é possível fazer uma correlação com os dados obtidos da volatilização, este gás é emitido a partir da cultura microbiana presente no solo, as variáveis que controlam esse processo são a água e quantidade de carbono, em que maiores quantidades, tem-se maiores emissões de N<sub>2</sub>O. Já a volatilização de NH<sub>3</sub> envolve um processo químico, onde depende da mudança de pH na adição do fertilizante, no caso da ureia essa alteração ocorre ao redor de seu grânulo e pode ser corrigida adicionando maiores doses de vinhaça, devido a melhora na infiltração do composto no solo.

A partir dos dados do gráfico, o maior pico de emissão de N<sub>2</sub>O foi no dia 22 com 409,07 mg N m<sup>-2</sup> e após simulação de chuva, isso mostra que por conter maiores quantidades de matéria orgânica comparado com VC 10 UAN, e, portanto, maiores quantidades de carbono disponível para os microrganismos, houve maior emissão de óxido nitroso. Já VC 30 UAN, por ser maior em quantidade, sua infiltração no solo é muito maior, podendo ter maior retenção de N<sub>2</sub>O nas profundidades, e, portanto, apresentar menor emissão do gás.

**Figura 8** - Perdas diárias de N por emissão de óxido nitroso



**Figura 9** - Acumulado da emissão de  $N_2O$  em 85 dias de experimento.



**Tabela 3** - Perdas acumuladas de N por volatilização de óxido nitroso

<b>Vinhaça Concentrada</b>	<b>Controle</b>	<b>Ureia</b>	<b>UAN</b>	<b>Média da dose</b>
<i>Emissão N<sub>2</sub>O acumulada (N mg m<sup>-2</sup>)</i>				
0m <sup>3</sup>	211,53 Bb	450,80 ABb	813,96 Ad	492,1 ± 175,1 d
10m <sup>3</sup>	630,75 Bb	3216,12 Aa	3557,32 Ab	2468,1 ± 923,9 c
20m <sup>3</sup>	1585,72 Ca	3341,20 Ba	4298,99 Aa	3075,3 ± 794,5 a
30m <sup>3</sup>	1712,22 Ca	809,80 Bb	2152,41 Ac	1558,1 ± 395,2 b
Média do fertilizante	1035,0 ± 365,5 C	1954,5 ± 768,4 B	2705,7 ± 771,8 A	
<i>Fator de Emissão</i>				
0m <sup>3</sup>	-	0,44 Ab	1,05 Ad	0,75 d
10m <sup>3</sup>	2,58 Bb	5,08 Aa	5,62 Ab	4,42 b
20m <sup>3</sup>	4,05 Ca	5,30 Ba	6,85 Aa	5,40 a
30m <sup>3</sup>	2,94 Ab	1,05 Bb	3,30 Ac	2,43 c
Média do fertilizante	3,19 ± 0,4 B	2,97 ± 1,3 A	4,21 ± 1,3 A	

Resultados seguidos por letras iguais não diferiram significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ); Letras maiúsculas foram usadas para comparar fertilizantes dentro de cada uma das doses e letras minúsculas foram usadas para comparar doses de VC.

## 5 COSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação conjunta de VC mais fertilizante mineral é uma boa estratégia para reduzir a volatilização de NH<sub>3</sub>, contudo aumenta as perdas por N<sub>2</sub>O. Doses maiores de vinhaça concentrada diminuem a volatilização de amônia e óxido nitroso, assim como a aplicação conjunta da ureia e UAN. Fertilizantes nitrogenados podem acabar acidificando o solo, ocorrendo maiores perdas de N, mas com aplicação conjunta de vinhaça ocorre a redução dessas perdas.

Aplicação de fertilizantes em conjunto com a vinhaça aumenta a emissão de óxido nitroso, sendo que doses intermediárias apresentam um aumento significativa comparada a menores e maiores doses, devido sua concentração de matéria orgânica não acompanhar o poder de infiltração no solo, ficando retido e emitindo maiores taxas de N<sub>2</sub>O.

A iniciação científica propôs muitos aprendizados em relação ao curso de processos químicos, desde a vivência em laboratório como também procedimentos laboratoriais: preparo

de soluções, noções do cromatógrafo, destilação, pHmetro, além da metodologia utilizada pelo instituto. Proporcionou também experiência com o campo científico.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Manual de Conservação e Reuso de Água na Agroindústria Sucroenergética**. Brasília, 2009. 292 p.

ANGHINONI, I. **Adubação nitrogenada nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. In: SANTANA, M.B.M. Adubação nitrogenada no Brasil. Ilhéus: CEPLAC/SBCS, 1986. Cap.I. p.1-18.

BARBOSA, V. **Ciclos biogeoquímicos como subsídio para a sustentabilidade do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar**. 2007. 117 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

BASSANTA, M. V. et al, **Efeitos do Manejo na Recuperação de Nitrogênio em Safra de Cana-de-Açúcar Cultivada no Brasil**. Geoderma, 2003.

CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S.; GERALDI, R. N. **Características químicas e físicas de solo que recebeu vinhaça por longo tempo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 30 p. (Boletim técnico, 76).

CANTARELLA, H. **Nitrogênio**. In: NOVAIS, R. F. *et al.* (Eds.). Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 2007. p. 375- 470.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; CONTIN, T. L. M.; DIAS, F. L. F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R. B.; QUAGGIO, J. A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, p. 397-401, 2008.

CARMO, J.B.D. *et al.*, **Infield greenhouse gas emissions from sugarcane soils in Brazil: effects from synthetic and organic fertilizer application and crop trash accumulation**. GCB Bioenergy, p. 267-280, 2013.

CARVALHO, J. L. N.; NOGUEIROL, R. C.; MENANDRO, L. M. S.; BORDONAL, R. O.; BORGES, C. D.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H. C. J. Agronomic and environmental implications of sugarcane straw removal: a major review. **GCB Bioenergy**, v. 9, 1181-1195, 2017.



CHRISTOFOLETTI, C. A.; ESCHER, J. P.; CORREIA, J. E.; MARINHO, J. F. U.; FONTANETTI, C. S. Sugarcane Vinasse: environmental implications of its use. **Waste Manage**, 2013.

CLAY, D. E.; MALZER, G. L.; ANDERSON, J. L. **Ammonia volatilization from urea as influenced by soil temperature, soil water content, and nitrification and hydrolysis inhibitors**. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54, p. 263-266, 1990.

CORTEZ, L., MAGALHÃES, P., HAPPI, J. **Principais subprodutos da agroindústria canaveira e sua valorização**. *Rev. Bras. de Energ.* 2, 111–146, 1992.

DEMATTE, J.A.M. *et al.*, **Effect of fermentation residue on the spectral reflectance properties of soils**. *Geoderma*, 120, 187–200, 2004.

DENMAN, K.L. *et al.*, **Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry**. In: CLIMATE CHANGE 2007: THE PHYSICAL SCIENCE BASIS. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2007. p. 499-588.

ESPAÑA-GAMBOA, E. *et al.*, **Terization and treatments**. *Waste Manage. Res.* 29, 1235-1250. 2011.

FITZGIBBON, F., SINGH, D., MCMULLAN, G., MARCHANT, R. **O efeito de ácidos fenólicos e concentração de lavagem de melão na remediação de efluentes de destilaria por fungos**. *Processo Bioquímico*. 33, 799-803, 1998.

FORSTER, P. *et al.*, **Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing**. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M.; MILLER, H.L. (Ed.). *Climate change 2007: the physical science basis. contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2007, p. 129-234.

FUESS, L.T., GARCIA, M.L. **Qual o valor da vinhaça? Mitigação de impacto ambiental e recuperação de energia por meio da digestão anaerobia**. *Cultura Acadêmica*, São Paulo, 2013.

GLÓRIA, N.A., ORLANDO FILHO, J. **Aplicação de vinhaça como fertilizante**. *Boletim Técnico do Planalsucar*, 5, 5-38, 1983.

HARPER, J.E. **Nitrogen metabolism**. In: BOOTE, K.J., BENNETT, J.M., SINCLAIR, T.R., *et al.* Physiology and determination of crop yield. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1994. Chapt.11A. p.285-302.

HOARAU, J., CARO, Y., GRONDIN, I., PETIT, T. Sugarcane vinasse processing: Toward a status shift from waste to valuable resource. A review. **Journal of Water Process Engineering**, Saint-Pierre Cedex, Réunion Island, France, v. 24, p. 17, 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva, Switzerland. 2007. 104 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing**, In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L.e. (Eds.), CLIMATE CHANGE 2007: THE PHYSICAL SCIENCE BASIS. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007, p. 996.

JIANG, Z.P. *et al.*, 2012. **Effect of long-term vinasse application on physico-chemical properties of sugarcane field soils**. Sugar Tech. 14, 412–417.

KHALIL, K.; MARY, B.; RENAULT, P. **Nitrous oxide production by nitrification and desnitrification in soil aggregates as affected by O<sub>2</sub> concentration**. Soil Biology & Biochemistry, Oxford, v.36, n.4, p.687-699, 2004.

LARA CABEZAS, W.A.R.; **Comportamento dos adubos nitrogenados em clima e solo de Cerrado**. Plantio Direto, Passo Fundo, p. 52 - 60, 01 maio 1998.

LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDORFER, G. & MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da ureia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.481-487, 1997.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H. & MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 489-496, 1997.

LAI ME, EMO *et al.*, 2011. **Possibilidades tecnológicas para a destinação da vinhaça: uma revisão**. R. Trop. Ci. Agr. Biol. 5, 16-29.

LIU, G.; LI, Y. & ALVA, A.K. High water regime can reduce ammonia volatilization from soils under potato production. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 38:1203-1220, 2007.

MA, B.L.; WU, T.Y.; TREMBLAY, N.; DEEN, W.; MCLAUGHLIN, N.B.; MORRISON M. J. & STEWART, G. On-farm assessment of the amount and timing of nitrogen fertilizer on ammonia volatilization. **Agronomy Journal**, 102, 134-144, 2010.

MEDINA, Juliana. **Fertilizantes NPK: Conheça a Importância para sua Lavoura!** Agropós. Disponível em: < <https://agropos.com.br/fertilizantes-npk/>>. Acesso em: 03 jun. 2022.

MIFLIN, B.J., LEA, P.J. The pathway of nitrogen assimilation in plants. **Phytochemistry**. New York, v.15, p.873-885, 1976.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2ª ed. Lavras: Ed. Universidade Federal de Lavras UFLA, 2006.

NAVARRETE, A. A. et al. Multi-analytical approach reveals potential microbial indicators in soil for sugarcane model systems. **PLoS ONE**, v. 10, p. e0129765, 2015.

NEVES, M.C.P., LIMA, I.T., Dobereiner, J., 1983. Efeito da vinhaça sobre a microflora do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.2, p.131-136, 1983.

NÔMMIK, H., Assessment of volatilization loss of ammonia from surface-applied urea to forest soil by N15 recovery. **Plant and Soil**, v. 38, 589-603, 1973.

OLIVEIRA, E. F. de; BALBINO, L. C. **Efeitos de fontes e doses de nitrogênio aplicado em cobertura nas culturas de trigo, milho e algodão**. In: OLIVEIRA, E. F. de; BALBINO, L. C. Resultados de pesquisa, 1/95. Cascavel: Ocepar, 1995.

OTTO, Rafael *et al.* Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers applied to sugarcane straw. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 3, p. 413-418, 2017.

PRATA, F.; LAVORENTI A.; REGITANO, J. B.; TORNISIELO, V.J. Degradação e sorção de ametrina em dois solos tratados com vinhaça. **Revista Agropecuária Brasileira**, v. 36, p.975-981, 2001.

PITOMBO, L.M., Do Carmo, J.B., De Hollander, M., Rossetto, R., López, M.V., Cantarella, H., and Kuramae, E.E. Exploring soil microbial 16S rRNA sequence data to increase carbon yield and nitrogen efficiency of a bioenergy crop. **GCB Bioenergy**, v. 8, 867-879, 2015.

RAMALHO, J.F.G.P., SOBRINHO, N.M.B.A., 2001. Metais pesados em solos cultivados com cana-de-açúcar pelo uso de resíduos agroindustriais. **Floresta e Ambiente**, v. 8, 120–129.

RAVISHANKARA, A.R., Daniel, J.S., Portmann, R.W., 2009. Nitrous Oxide (N<sub>2</sub>O): The dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century. **Science**, v. 326, 123-125.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D.; CHANTINI, M.H.; MacDONALD, J.D.; BISSONNETTE, N. & BERTRAND, N. Ammonia volatilization following surface application of urea to tilled and no-till soils: A laboratory comparison. **Soil Tillage Research**, 103:310-315, 2009c.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D.; CHANTINI, M.H.; MacDONALD, J.D.; GASSER, M. & BERTRAND, N. Reducing ammonia volatilization in a no-till soil by incorporating urea and pig slurry in shallow bands. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 84:71-80, 2009.

SANTANA, V.S., MACHADO, N.R.C.F. Photocatalytic degradation of the vinasse under solar radiation. **Catalysis Today**, v. 133, 606-610, 2008.

SENGIK, E.; KIEHL, J. de C.; SILVA, M. A. G. da; PALANGANA, D. C.; LAWDER, M. R. Perdas de amônia em solo e de resíduos orgânicos autoclavados e tratados com ureia. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1099-1105, 2001.

SILVA, A. J. N.; RIBEIRO, M. R.; CARVALHO, F. G.; SILVA, V. N.; SILVA, L. E. S. F. Impact of sugarcane cultivation on soil carbon fractions, consistence limits and aggregate stability of a Yellow Latosol in Northeast Brazil. **Soil and Tillage Research**, vol. 94, nº 2, p.420-424, 2007.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, n. 1, p. 108-114, 2007.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília: MEC, Lavras: ESAL, 1988. 236 p.

SOUSA, Djalma. M. Gomes de; LOBATO, Edson. Adubação com nitrogênio. In: SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, **Embrapa Informação Tecnológica**, 2004. p. 129-145.

SNYDER, C.S.; BRUULSEMA, T.W.; JENSEN, T.L.; FIXAN, P.E. Review of greenhouse gas emissions from cropping production systems and fertilizer management effects. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 133, n. 3/4, 2009. p. 247-266.