



**Ensino Médio com Habilitação Profissional de  
TÉCNICO EM QUÍMICA**

**Programa de Articulação da Formação Profissional  
Média e Superior (AMS)**

**Beatriz Degaspari  
Daniel José Ferreira  
Henrique Janglossi Faganello  
Isabelly Vitória Teixeira da Silva  
João Pedro Paschoalini**

**UTILIZAÇÃO DOS INIBIDORES NBPT E DCD INCORPORADOS  
VISANDO REDUZIR PROCESSOS DE PERDAS DE NITROGÊNIO**

**Piracicaba – SP  
2025**


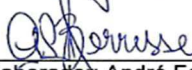



**Beatriz Degaspari**  
**Daniel José Ferreira**  
**Henrique Janglossi Faganello**  
**Isabelly Vitória Teixeira da Silva**  
**João Pedro Paschoalini**

**UTILIZAÇÃO DOS INIBIDORES NBPT E DCD INCORPORADOS  
 VISANDO REDUZIR PROCESSOS DE PERDAS DE NITROGÊNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Ensino Médio com habilitação Profissional de Técnico em Química AMS da Etec Coronel Fernando Febeliano da Costa, orientado pelos professores Wagner Fernando Ferreira e Eduardo Antedomenico como requisito parcial para obtenção do título de Técnico em Química.

Data de aprovação: 19/11/25

**FOLHA DE APROVAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA**

 Prof. Wagner Fernando Ferreira Etec Coronel Fernando Febeliano da Costa	 Prof. Eduardo Antedomenico Etec Coronel Fernando Febeliano da Costa
 Colaborador: André Ferrisse Empresa: Fermentec	 Prof.ª Maria Rosa Briense de Oliveira Etec Coronel Fernando Febeliano da Costa
 Colaboradora: Débora Fernandes Silva Empresa: Mérieux NutriSciences	 Colaborador: Luis Paulo Fava Empresa: Mérieux NutriSciences

**Piracicaba – SP**

**2025**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) pelo apoio acadêmico e estrutural concedido durante toda a pesquisa, o que tornou possível sua realização.

Também gostaríamos de agradecer ao Laboratório de Isótopos Estáveis e ao Professor Pesquisador Eduardo Mariano pela confiança em nos orientar em um tema tão complexo.

Em seguida, agradecemos aos professores do curso Técnico em Química por compartilharem seus conhecimentos e habilidades, essenciais para a execução das tarefas necessárias.

Por fim, expressamos nossa gratidão à Fermentec e à Meriux pelo apoio oferecido ao longo do curso, de extrema importância para nossa formação profissional

*“Nada na vida deve ser temido, apenas compreendido.”*

(Marie Curie)

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1.1. Justificativa .....	1
1.1.2. Problema de Pesquisa.....	1
1.1.3. Hipóteses.....	1
1.1.4. Objetivo geral .....	2
1.1.5. Objetivos específicos .....	2
<b>2.DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>3</b>
2.1. Fundamentação Teórica.....	3
2.1.1. Situação atual dos fertilizantes .....	3
2.1.2. Ureia: formação e hidrólise.....	8
2.1.3. Inibidores: DCD e NBPT .....	10
2.1.4. Granulação .....	12
2.1.5. Retenção de amônia em meio ácido .....	16
2.1.6. Destilação de amônia .....	18
2.1.7. Sistema FIA .....	20
<b>3. Metodologia</b> .....	<b>22</b>
3.1. Instalação, coleta e preparo do solo .....	22
3.2. Parcelas experimentais e formulações fertilizantes .....	22
3.3. Aplicação do nitrogênio e instalação das armadilhas.....	24
3.4. Quantificação da amônia volatilizada .....	25
3.5. Análises estatísticas.....	25
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>27</b>
4.1. Perda diária de N- NH <sub>3</sub> .....	27
4.2. Perda cumulativa de N-NH <sub>3</sub> .....	31
4.3. pH do solo .....	34
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>36</b>
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>38</b>

## **1.INTRODUÇÃO**

### **1.1.1. Justificativa**

Atualmente um dos maiores problemas da agronomia está relacionado com as perdas do fertilizante ureia e suas aplicações em campo. Tendo como seus maiores processos de perda a volatilização, a desnitrificação e a lixiviação. Visando reduzir esses processos isoladamente, são utilizados atualmente inibidores como o N-(n-butil) tiossulfônico triamida (NBPT) e a dicianodiamida (DCD), mas a dificuldade está em conseguir realizar uma mistura desses inibidores para que vários processos de perda sejam minimizados.

### **1.1.2. Problema de Pesquisa**

Com base nos testes elaborados em outros artigos, a mistura do DCD e NBPT realizada na parte exterior da ureia acaba por intensificar o processo de perda, pois o DCD entra em contato com o solo, assim reduzindo a atividade microbiana e impedindo a nitrificação da amônia, fazendo com que os hidrogênios não sejam liberados no solo e ocorra um aumento no pH, resultando assim numa aceleração do processo de volatilização desse nitrogênio na forma de amônia.

### **1.1.3. Hipóteses**

Relacionando com o problema mencionado acima, temos como solução a utilização dos inibidores NBPT e DCD incorporados ao fertilizante ureia. Assim, tem-se como hipótese que a liberação controlada desses inibidores durante o processo de hidrólise reduzirá possíveis perdas, fazendo com que possíveis processos de perda sejam minimizados, e se mantenham estáveis durante todo o processo.

#### **1.1.4. Objetivo geral**

Temos como objetivo geral atingir uma redução parcial nos processos de perda de nitrogênio e contaminação do ambiente, que são liberados pela alta concentração de nitrogênio no solo, proveniente da ureia fertilizante. Dessa forma, buscou-se através de algumas análises, examinar a quantidade de amônia que será volatilizada em um certo período de tempo, comparando diferentes tipos de aplicação dos inibidores sobre o fertilizante.

#### **1.1.5. Objetivos específicos**

- Realizar um comparativo entre os inibidores
- Identificar o inibidor com maior eficiência em inibir a volatilização
- Comprovar qual o melhor método de aplicação dos inibidores

## **2.DESENVOLVIMENTO**

### **2.1. Fundamentação Teórica**

#### **2.1.1. Situação atual dos fertilizantes**

Atualmente a economia do Brasil consiste em grande parte do agronegócio

“O Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio brasileiro, calculado pelo Cepea (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada), da Esalq/USP, em parceria com a CNA (Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil), registrou crescimento de 4,48% no quarto trimestre de 2024. Esse excelente desempenho permitiu uma reversão do movimento de queda anual que era observado até o terceiro trimestre, e, no acumulado de 2024, o PIB avançou 1,81%. Diante disso, considerando-se também o desempenho da economia brasileira como um todo, o PIB do agronegócio correspondeu por 23,2% do PIB do Brasil em 2024, ligeiramente abaixo dos 23,5% registrados em 2023 (Cepea, 09/04/2025)”.

Diante dessa informação, temos como principal uma de nossas principais preocupações com o desenvolvimento, o mercado agrônômico.

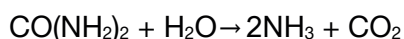
Atualmente, com a alta demanda de produtos desenvolvidos por esse setor, entende-se como necessidade uma alta demanda de nutrientes para aceleração e maior rendimento desses produtos. Dessa maneira, uma das formas de conseguirmos realizar essa reposição de nutrientes que são fornecidos em pouca quantidade no solo, é a utilização de fertilizantes. Assim, de acordo com a Embrapa

“Se considerado o uso aparente de fertilizantes, o aumento da área plantada e outros fatores de produção (novas variedades, manejo, produtos com maior eficiência) nos últimos 20 anos, o uso de adubos foi o responsável por 51% do aumento da produção agrícola do país, seguido pelos outros fatores de produção (37%) e pela expansão da área de cultivo (12%), segundo estimativa dos autores.” (Embrapa, cap.14, pág. 263).

Dentro dessa perspectiva, acabamos por encontrar uma vasta quantidade de

fertilizantes, em sua maioria importados, criando assim uma alta dependência sobre as importações, consumindo em média 2% de toda a produção mundial de fertilizantes minerais (Embrapa, cap.14, pág. 268). Nesse sentido, nos deparamos com os fertilizantes nitrogenados, que normalmente são um dos mais utilizados nos plantios, tendo em vista que potencializam o crescimento da colheita,

“Atualmente, a ureia, corresponde aproximadamente a 60% dos fertilizantes nitrogenados utilizados na agricultura brasileira. Este fertilizante pode ser utilizado de diversas formas como fonte de N para as culturas. Porém, seu uso mais comum é a aplicação sob a superfície ou incorporado ao solo. Entretanto, devido à sua alta solubilidade, a ureia pode também ser dissolvida em água e aplicada ao solo, adicionada à água de irrigação ou pulverizada sobre a folhagem das plantas. Contudo, a ureia apresenta como grande desvantagem, expressivas perdas de N por volatilização da amônia (NH<sub>3</sub>), pois quando aplicada ao solo, pode sofrer hidrólise por ação da enzima urease, convertendo NH<sub>2</sub> a NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Em função de consumir H<sup>+</sup> do meio, essa reação promove a elevação do pH do solo próximo aos grânulos de fertilizantes, o que favorece a transformação do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> em NH<sub>3</sub>, uma forma gasosa passível de perda por volatilização (Embrapa, cap.14, pág. 271) ”.



Portanto, essa alta demanda, juntamente com essa alta perda durante o processo causa grandes impactos, tornando-nos suscetíveis à exploração econômica.

Outros problemas também acabam se tornando presentes durante o plantio, como a lixiviação, processo em que ocorre o movimento descendente do N presente no solo, tendo o ânion NO<sub>3</sub><sup>-</sup> mais sujeito a esse processo devido à repulsão pelos ânions presentes no solo e tendo uma relação direta com a água que passa pelo solo (NEETESON e CARTON, 2001; CANTARELLA, 2007; DOHANIK, pág 15, 2020). Dessa forma, outro problema que ainda reside é a desnitrificação. A nitrificação é o processo que transforma o N amoniacal em N-nítrico por bactérias nitrificadoras. Associado ao processo de nitrificação está a desnitrificação, na qual certos microrganismos são capazes de usar NO<sub>2</sub><sup>-</sup> ou NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em substituição a O<sub>2</sub> para formar os gases N<sub>2</sub>O (óxido nitroso), NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>, que são perdidos para a atmosfera (LOPES, 1998; NEETESON e CARTON, 2001; DOHANIK, pág. 15,2020). A perda de N na forma gasosa provoca a diminuição da eficiência dos fertilizantes nitrogenados,

e até 30% do fertilizante nitrogenado aplicado pode ser perdido pelo processo de desnitrificação (AMBUS, P.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S., 2007; Dohanik, pág. 15,2020). Além disso, o N<sub>2</sub>O é conhecido por ser um gás causador do efeito estufa, tendo um potencial de aquecimento global 320 vezes maior do que o dióxido de carbono, uma vez que sua vida atmosférica é cerca de 120 anos. O óxido nítrico (NO) também está associado à depleção da camada de ozônio estratosférica da terra, de forma que o balanço radioativo da troposfera contribui para o aquecimento global (NEETESON e CARTON, 2001; MARTENS, 2005; CANTARELLA, 2007; DOHANIK, pág.15, 2020).

Com todos esses problemas em mente, foram criados inibidores desses processos visando a redução das perdas. Inicialmente, iremos tratar sobre os inibidores de nitrificação. Nesse sentido, visando reduzir processos de lixiviação, temos esses inibidores como principal solução. Dessa forma, os mesmos são utilizados visando retardar o processo da primeira fase de oxidação do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> em NO<sub>2</sub>- realizado pelas bactérias presentes no solo, por assim, reduzindo a disponibilidade de NO<sub>3</sub>- disponível no solo para ser lixiviado (BARTH, G., 2009).

Esses compostos ocupam (ligam-se) os sítios ativos da monoxigenase, que é um amplo substrato para a oxidação catalítica. Conforme o produto resultante dessa ligação denomina-se o mecanismo base de inibição, sendo os principais os compostos de S, compostos de acetileno e compostos heterocíclicos (MCARTY, 1999). A estabilidade dessa ligação confere a habilidade dos compostos em retardar o processo de nitrificação (SAHRAWAT, 1980) (BARTH, G., p.19, 2009).

Também, temos como solução para as perdas de N na forma de NH<sub>3</sub> por volatilização, os inibidores de urease. Contudo, algumas dificuldades são encontradas durante a utilização desses inibidores,

Os únicos compostos que tem provável viabilidade são os que possuem estruturas análogas à molécula de uréia. Os pontos de ligação e o comprimento dos grupamentos amida da phosphoryl di- e triamida são similares aos da uréia e, essas amidas não são substrato da urease. Essas características aparentemente possibilitam o inibidor ligar-se aos sítios ativos da urease, ocupando estes locais por um longo período (DOMINGUEZ et al. 2008). Porém, pela degradação da molécula análoga, esse período de ligação pode ser variável. Com isso, pode-se ter bons resultados ou não (BYRNES e FRENEY, 1995) na redução da volatilização de amônia através da inibição da atividade da enzima urease" (BARTH, G., p.17, 2009).

Assim, é essencial a procura por novas formas de se inibir a urease produzida no solo, da melhor forma possível.

Também temos alguns parâmetros que devem ser considerados durante a pesquisa como os parâmetros físico-químicos do solo. Em primeira análise, devemos considerar como esses parâmetros a densidade, estrutura, retenção de água, potencial hidrogeniônico (pH), matéria orgânica presente, Capacidade de Troca Catiônica (CTC), nutrientes, saturação por bases, alumínio trocável, condutividade elétrica e carbono orgânico presente. De acordo com Ahmmed Md Motasim et al., podemos relacionar algumas diminuições na volatilização da amônia ( $\text{NH}_3$ ) com a quantidade de nutrientes presentes no solo como por exemplo o cobre, o enxofre etc.

Também, com base nos autores apresentados no último parágrafo, podemos relacionar o pH do solo com os processos que são realizados. Dessa forma, é nos apontado a relação entre a produção de amônia com a alcalinidade do solo, que em pH maior que 7,5 possibilita essa maior formação. Assim, outros fatores que mais influenciam são o teor de umidade, temperatura e a quantidade de N disponível no solo (MOTASIM, A. M. et al.,2024).

The soil pH is an important factor that affects the physical, chemical, and biological properties of soil. The soil pH promotes the chemical and biological properties of soil that control hydrolysis of applied urea. The rate of urea hydrolysis increases with the increase in soil pH [3, 30] because  $\text{H}^+$  ions are absorbed, and  $\text{HCO}_3^-$  ions are released into the soil. The highest hydrolysis was recorded at pH 8.0, but it varies in different soil and climatic conditions [3]. Six to seven is the optimum pH range for maximum urea hydrolysis due to the higher activity of the urease enzyme [89]. At the pH value 5.5–8.5, the rate of urea hydrolysis increases with the increase of urea concentration applied to soil, but at the pH over 9.5, the urea hydrolysis rate decreases with the increasing urea concentration. Nevertheless, the high urea concentration reduces the urease activity because of substrate inhibition or urease denaturation in high soil pH [25, 164] (MOTASIM, A. M. et al.,2024).

O pH do solo é um fator importante que afeta as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. O pH do solo promove as propriedades químicas e biológicas que controlam a hidrólise da uréia aplicada. A taxa de hidrólise da uréia aumenta com o aumento do pH do solo [3, 30], porque os íons  $\text{H}^+$  são absorvidos e os íons  $\text{HCO}_3^-$  são liberados no solo. A maior hidrólise foi registrada em pH 8,0, mas isso varia em diferentes condições de solo e clima [3]. A faixa de pH ideal para a máxima hidrólise da uréia está entre seis e sete, devido à maior atividade da enzima urease [89]. Na faixa de pH de 5,5 a 8,5, a taxa de hidrólise da uréia aumenta com o aumento da concentração de ureia aplicada ao solo, mas em pH superior a 9,5, a taxa de



### 2.1.2. Ureia: formação e hidrólise

A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado na agricultura brasileira e mundial devido ao seu elevado teor de nitrogênio (46%), ao baixo custo e à facilidade de aplicação. Sua produção industrial ocorre pela reação entre amônia (NH<sub>3</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sob alta pressão e temperatura, formando o carbamato de amônio, que se decompõe em ureia e água (IFBA, 2021). Como destacam SANGOI et al. (2011), esse processo faz da ureia uma das fontes mais concentradas de nitrogênio para uso agrícola.

“Como exposto pelo Professor Mello Morais, da ESALQ/USP, “a síntese de amônia – obtida por dois alemães, Fritz Haber e Karl Bosch – foi uma das maiores invenções da humanidade”. “Sem ela a produção de alimento seria apenas suficiente para a metade dos 6 bilhões de pessoas hoje existentes, desde que se conformem com uma dieta mínima de proteína para a sua sobrevivência”, afirmativa feita pelo especialista mundial Vaclav Smil (Universidade Manitoba, Canadá) e transcrita em artigo do Dr. Fernando Penteado Cardoso no Informações Agronômicas no 89, de março/2000, editado pela POTAFOS”. (EMBRAPA; 2018)

Após a aplicação no solo, a ureia sofre hidrólise enzimática catalisada pela urease, enzima amplamente presente nos solos tropicais. Essa reação transforma a ureia em dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e amônia (NH<sub>3</sub>), segundo a equação:

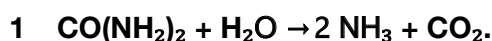
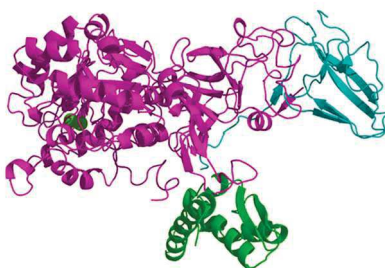


Figura 2 : Molécula de uréase

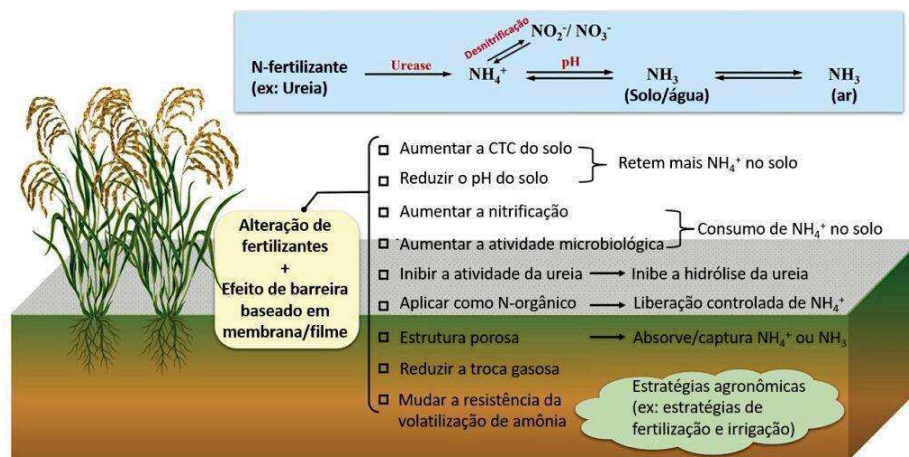


Fonte: (AQUAPORTAIL, 2023)

Parte da amônia é convertida em íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), forma assimilável pelas plantas. No entanto, em solos com pH elevado, especialmente em sistemas com pouca incorporação do fertilizante, grande parte da amônia é perdida por volatilização, representando prejuízo agrônomo e risco ambiental (SANGOI et al., 2011).

De acordo com TASCA et al. (2015), as perdas por volatilização podem variar de 10% até 78% do nitrogênio aplicado, dependendo do tipo de solo, umidade, temperatura e manejo da ureia. Além disso, o pico de volatilização ocorre nas primeiras 48 horas após a aplicação, sendo esse um fator crítico em solos tropicais.

Figura 3: Esquema da volatilização



Fonte: (AGROADVANCE, 2022)

Diante disso, estratégias como o uso de inibidores de urease (como o NBPT – N-(n-butyl) thiophosphoric triamide) têm se mostrado eficazes para retardar a transformação da ureia, reduzindo as perdas e aumentando a eficiência de uso do nitrogênio (EUN). Resultados experimentais na Amazônia indicam que a adição de NBPT à ureia pode reduzir em até 58% as perdas por volatilização em comparação com a ureia convencional (EMBRAPA, 2018).

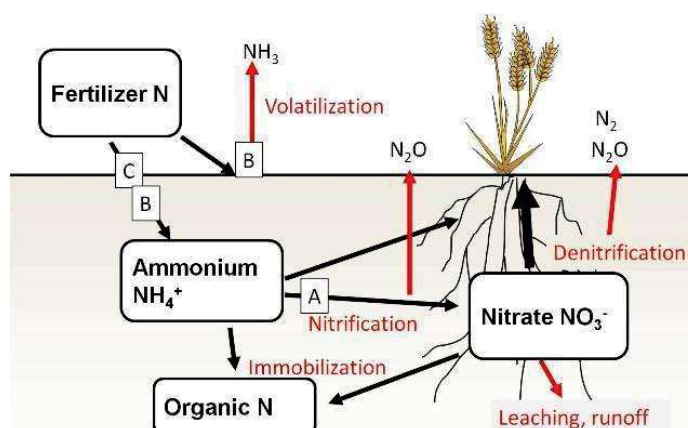
Portanto, compreender os processos químicos e biológicos relacionados à formação e hidrólise da ureia é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de manejo que maximizem o aproveitamento do nitrogênio aplicado e reduzam os impactos ambientais da adubação nitrogenada.

### **2.1.3. Inibidores: DCD e NBPT**

A aplicação de ureia nas lavouras tropicais brasileiras, apesar do seu papel central na adubação nitrogenada, sofre com perdas significativas por volatilização de amônia — que podem ultrapassar 30 % do nitrogênio aplicado, dependendo do solo, clima e manejo (SILVA et al., 2017). Para mitigar esse problema, utilizam-se compostos químicos como o NBPT e o DCD.

“A fim de minimizar essa perda, produtos têm sido misturados à ureia para inibir temporariamente a ação da urease. Este trabalho objetivou avaliar alternativas de aplicação de um fertilizante com inibidor de urease, visando a diminuir a volatilização de  $\text{NH}_3$  relativamente à ureia convencional, em algumas condições ambientais e de solo. (SILVA et al., 2017)”

**Figura 4: Fluxograma do processo de volatilização**



Fonte: (MANITOBA, 2020)

O NBPT (N- (n-butil) tiofosfórico triamida) age como um inibidor de urease, retardando a hidrólise da ureia em amônia. No estudo de Silva et al. (2017), conduzido em abacaxis do semiárido mineiro, a ureia tratada com NBPT reduziu e atrasou os picos de volatilização, especialmente em baixas doses de N, diminuindo significativamente as perdas nas primeiras semanas após a aplicação. Esse retardamento permite que o fertilizante seja incorporado ao solo por chuva leve ou irrigação, aumentando a eficiência no uso do nitrogênio.

Por outro lado, o DCD (dicianodiamida) atua como inibidor da nitrificação, freando a conversão de  $\text{NH}_4^+$  em  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$  pelas bactérias do gênero Nitrosomonas. Em estudo sobre dejetos de suínos, DCD foi aplicado em doses de 2,8 a 11,3  $\text{kg ha}^{-1}$ , e em 11,3  $\text{kg ha}^{-1}$  observou-se completa inibição da nitrificação nos primeiros 12 dias; além disso, cada acréscimo de 2,8  $\text{kg ha}^{-1}$  reduziu cerca de 13,3  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$ -N durante o mês seguinte.

Estudos combinando os dois compostos, como o de Silva et al. (2017), mostraram que enquanto o NBPT reduz fortemente a volatilização nas primeiras 2–3

semanas, o DCD prolonga a retenção de nitrogênio no solo, retendo  $\text{NH}_4^+$  por mais tempo. No entanto, em alguns casos, o DCD isolado pode aumentar ligeiramente a volatilização, devido à manutenção de pH e  $\text{NH}_4^+$  elevados.

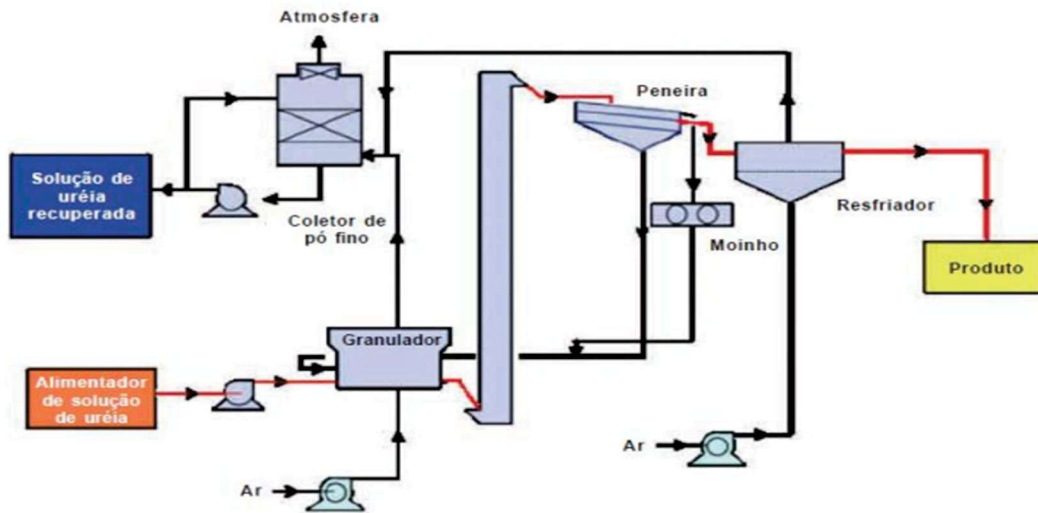
No Brasil, essas tecnologias vêm sendo testadas em culturas como milho, trigo e dejetos de suínos, em solos tropicais com texturas variadas. A aplicação conjunta de NBPT e DCD tem apresentado ganhos em eficiência de uso de N na ordem de 20 % a 30 %, além de redução de impactos ambientais, como emissão de  $\text{NH}_3$  e lixiviação de  $\text{NO}_3^-$  (SILVA et al., 2017; estudo de confinamento de suínos).

Essa combinação revela-se estratégica, pois aborda simultaneamente a volatilização e a nitrificação. Destaca-se que o seu sucesso depende de fatores como dose aplicada, tipo de solo, pH, clima e manejo da irrigação. O presente trabalho visa aprofundar os mecanismos de ação do NBPT e do DCD, avaliar sua performance em solos tropicais brasileiros e quantificar os benefícios agronômicos e ambientais associados à redução de perdas de N.

#### **2.1.4. Granulação**

Outra parte a ser considerada é a granulação, que consiste em um processo físico-químico essencial na indústria de manufatura, utilizado para transformar pós finos ou partículas soltas em grânulos sólidos, uniformes e mais estáveis. Esse processo melhora a fluidez, a compressibilidade e a homogeneidade dos materiais, sendo amplamente aplicado em setores como farmacêutico, alimentício, cosmético, químico e de construção. Na química, a granulação envolve a mistura de ingredientes, a adição de líquidos aglutinantes ou aplicação de pressão e calor, promovendo a união das partículas por meio de forças físicas ou químicas. Pode ocorrer por métodos como granulação úmida, seca ou por fusão, dependendo das características dos componentes. O processo facilita o manuseio, evita a segregação de substâncias e permite controlar a liberação de compostos ativos. Além disso, aumenta a estabilidade física e química dos produtos finais, tornando-os mais eficientes e seguros para uso industrial ou comercial.

Figura 5: Fluxograma do processo de granulação



Fonte: Franco e Saraiva Neto (2007)

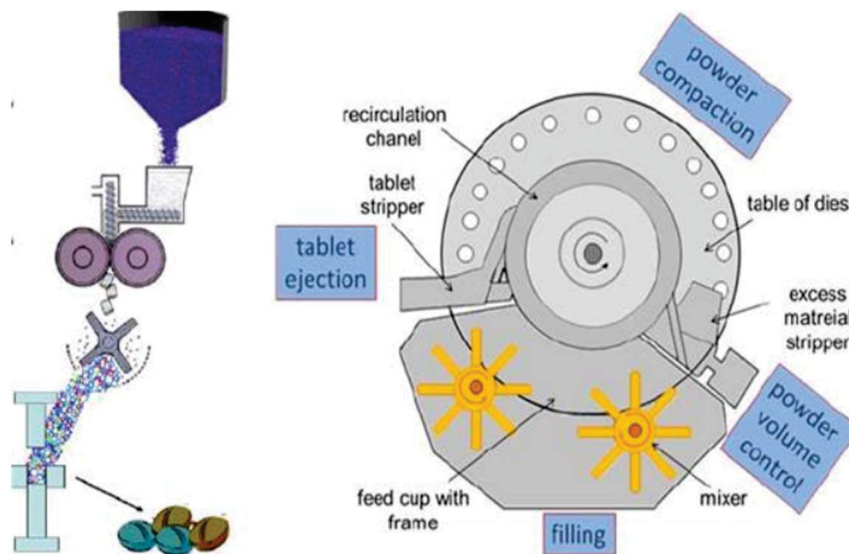
Fonte: Franco e Saraiva Neto (2007)

“O processo industrial de granulação de ureia mais comum consiste, basicamente, em obter grânulos sólidos a partir de partículas menores. Para isso, a solução de ureia concentrada é transferida para o granulador e é aspergida sobre microgrânulos do fertilizante em sistemas rotativos ou de leito fluidizado, aumentando-os de tamanho por aglomeração de camadas sucessivas, até atingir o tamanho desejado. Geralmente, a solução de ureia é misturada junto com um aditivo (resina contendo formaldeído, por exemplo) que melhora a qualidade do produto final. Após o término da granulação, o produto é resfriado com jatos de ar e encaminhado para a seção de triagem, onde os grânulos de tamanhos desejados (2 a 4 mm de diâmetro) são selecionados através de peneiras, podendo ser armazenados. Os grânulos sobredimensionados são triturados em um moinho e retornam para o processo de granulação juntamente com os grânulos subdimensionados” (SHREVE; BRINK JUNIOR, 1977; FRANCO; SARAIVA NETO, 2007).

A granulação a seco é um processo sistemático amplamente utilizado quando os materiais envolvidos são sensíveis à umidade ou ao calor. Esse método ocorre

sem o uso de líquidos aglutinantes, sendo ideal para compostos que perdem estabilidade na presença de solventes ou temperaturas elevadas. O processo começa com a preparação e homogeneização dos pós, que são então compactados por meio de prensas rotativas ou rolos compactadores, formando folhas ou fitas densas de material. Essas fitas passam por uma etapa de moagem controlada, onde são fragmentadas em grânulos com tamanho adequado para a aplicação desejada. Por fim, os grânulos são peneirados para garantir uniformidade e, se necessário, misturados novamente com outros excipientes. A granulação seca é especialmente útil na indústria farmacêutica para a produção de comprimidos, pois melhora a fluidez dos pós, facilita a compressão direta e garante uma dosagem precisa dos princípios ativos, além de ser energeticamente mais eficiente por dispensar a etapa de secagem.

**Figura 6: Processo de granulação seca**

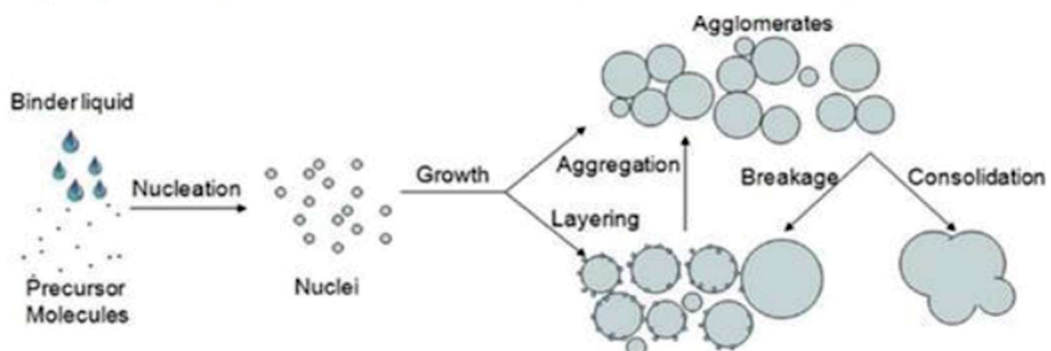


Fonte: HIJ MACHINERY, 2019

O processo de granulação úmida é o método mais amplamente utilizado na fabricação de formas farmacêuticas sólidas orais (OSD), especialmente na produção

de comprimidos. Trata-se de uma técnica complexa que transforma uma mistura heterogênea de pós e ingredientes ativos em grânulos com propriedades físicas ideais para compressão. O processo começa com a mistura dos pós secos, incluindo o princípio ativo e excipientes, seguida da adição de um aglutinante líquido geralmente água ou uma solução contendo polímeros ou solventes específicos que tem a função de unir as partículas. Essa combinação resulta em uma massa úmida e coesa, cuja consistência é cuidadosamente controlada para garantir a formação adequada dos grânulos. Em seguida, essa massa passa por uma etapa de desaglomeração, conhecida como moagem úmida, na qual a massa é forçada por peneiras ou tamises para formar grânulos de tamanho uniforme. Após essa etapa, os grânulos são submetidos à secagem, geralmente em estufas ou leitos fluidizados, até atingirem um teor de umidade seguro e estável. Finalmente, os grânulos secos são moídos novamente para ajustar seu tamanho e obter uma granulometria adequada para a compressão em comprimidos. A granulação úmida é valorizada por proporcionar excelente uniformidade de dosagem, boa fluidez dos grânulos e maior resistência mecânica aos comprimidos produzidos, sendo especialmente útil quando o princípio ativo não possui boas propriedades de compressão direta.

**Figura 7: Processo de granulação úmida**



Fonte: HIJ MACHINERY, 2019

### 2.1.5. Retenção de amônia em meio ácido

Dessa forma, temos como base da pesquisa a volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ) na aplicação de ureia sendo uma das principais causas da baixa eficiência do uso de nitrogênio na agricultura brasileira, podendo causar perdas superiores a 50 % do fertilizante aplicado, especialmente em sistemas de cultivo a lanço sobre superfícies com pH elevado e pouca incorporação (TASCA; ERNANI; ROGERI et al., 2011). Em Cambissolos húmicos, a volatilização acumulada atingiu valores entre 2% e 50% do nitrogênio aplicado, com picos de até 14 kg N/ha por dia, dependendo do pH, umidade e temperatura (TASCA; ERNANI; ROGERI et al., 2011).

Figura 8: Volatilização diária de  $\text{NH}_3$  do solo ao longo do tempo

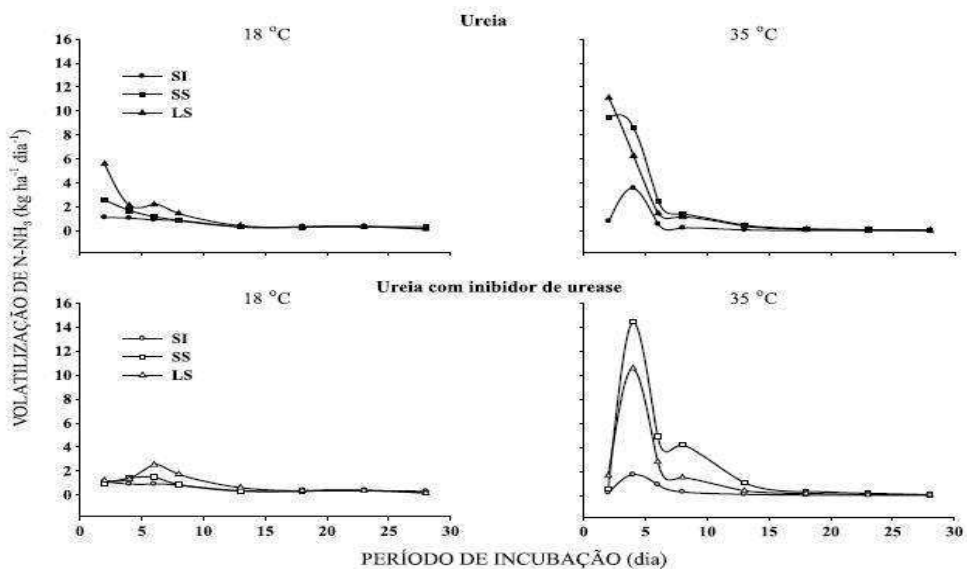
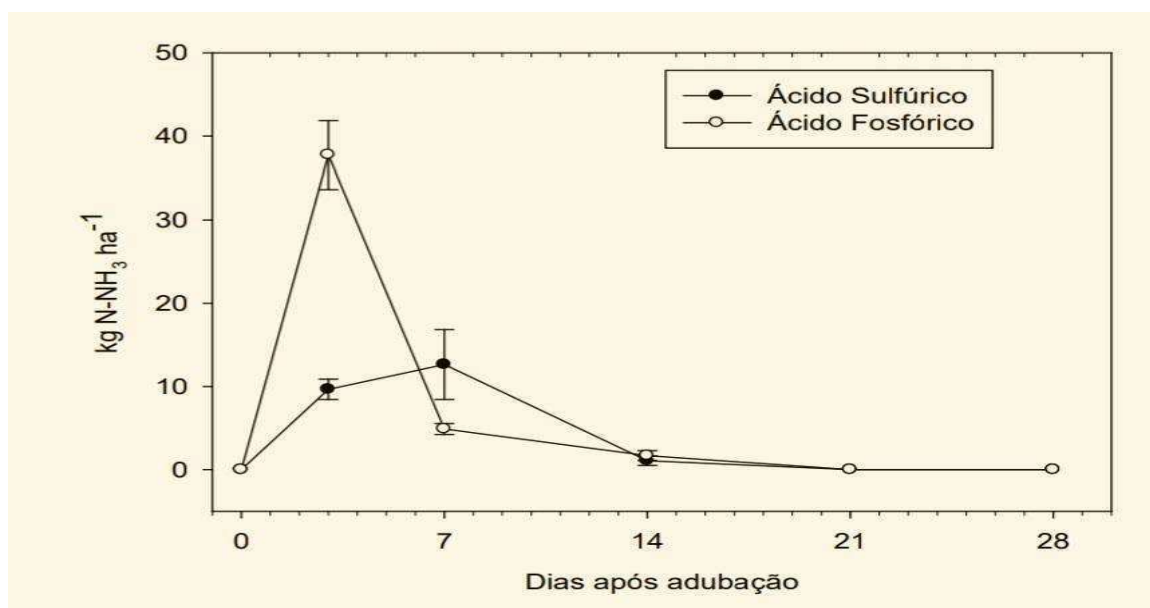


Figura 2. Volatilização diária de  $\text{NH}_3$  do solo ao longo do tempo após a aplicação de ureia convencional (U) ou de ureia com inibidor de urease (UIU) nas formas sólida, com (SI) ou sem incorporação (SS), ou líquida sobre a superfície (LS), em ambiente mantido a 18 ou a 35 °C.

Fonte: TASCA, 2011. v. 35

Figura 9: Evolução de perda diária de N-NH<sub>3</sub>



Fonte: EMBRAPA, 2021

Uma estratégia eficaz para reduzir essas perdas é o uso de meios ácidos, os quais reduzem o pH na zona superficial do solo e deslocam o equilíbrio entre NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NH<sub>3</sub>, favorecendo a forma iônica não volátil. Experimentos com solos tratados com ácido sulfúrico (1 mol L<sup>-1</sup> + glicerina 4 %) mostraram-se particularmente eficientes na "captura" da amônia liberada em campo na Amazônia mato-grossense. Em outros casos, a acidificação localizada aplicando-se sulfato de amônio ou misturas ácidas com ureia reduziu a volatilização em até 60 %, conforme observado em sistemas de milho no Cerrado.

“Atualmente existem diversas estratégias para minimizar as perdas de nitrogênio por volatilização da amônia e melhorar sua absorção pelas culturas. As perdas por volatilização de amônia, provenientes da aplicação de fertilizantes nitrogenados no solo, ou aplicação de dejetos de animais, podem ser minimizadas, através da adição de ácidos ou sais (PORT et al., 2003). Outra forma de reduzir as perdas de NH<sub>3</sub> é o uso de substâncias que inibem a atividade da urease. Neste sentido, vários compostos têm sido testados como inibidores de urease, a fim de retardar a hidrólise da ureia e reduzir as perdas (SOUZA et al., 2017; CHIEN et al. 2009).”

As soluções ácidas funcionam alterando o equilíbrio conforme a reação:



Onde pH mais baixo desloca o equilíbrio para a esquerda, retendo maior parte do nitrogênio na forma amoniacal, menos propensa à volatilização. Em um estudo com dejetos líquidos de suínos, a correção do pH de 7,2 para 5,0 via ácido sulfúrico reduziu a perda de N por volatilização de 61% para 27%.

Essas práticas têm impacto direto na eficiência agronômica: ao reduzir perdas por volatilização, aumentam a disponibilidade de N para as plantas e diminuem os riscos ambientais. Em sistemas de plantio direto com palhada, o uso de ácido evita o aumento local de pH provocado pela lixiviação de  $\text{NH}_3$ , evitando perdas massivas de N e contribuindo para o equilíbrio nutricional do solo (TASCA et al., 2011.)

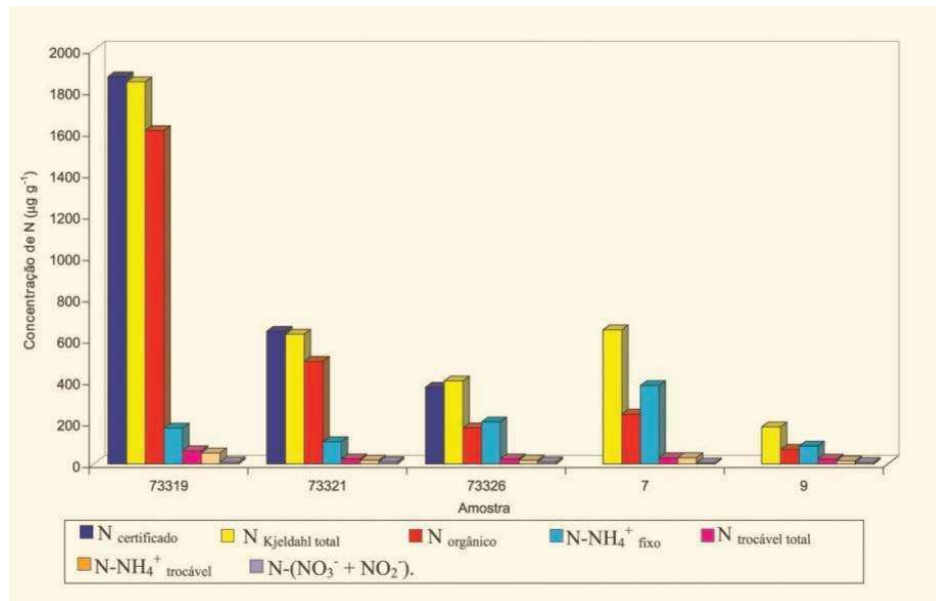
#### **2.1.6. Destilação de amônia**

A recuperação da amônia ( $\text{NH}_3$ ) é uma etapa fundamental em diversos processos industriais e ambientais, como a produção de fertilizantes, o tratamento de efluentes e o controle de emissões atmosféricas. Devido à sua elevada solubilidade em água e à facilidade de volatilização, técnicas como a destilação térmica e o air stripping têm sido amplamente utilizadas para separá-la de soluções líquidas (FERRAZ, 2010).

Segundo Ferraz (2010), o processo de air stripping, aplicado ao tratamento de lixiviados de aterros sanitários, permite remover até 80% da amônia livre da água por meio da elevação do pH e da temperatura, facilitando sua passagem para a fase gasosa. A amônia recuperada pode ser absorvida em ácido sulfúrico, formando sulfato de amônio, um fertilizante com valor comercial.

**Figura 10: Concentração das formas nitrogênio e de nitrogênio total no solo**

**Figura 10: Concentração das formas nitrogênio e de nitrogênio total no solo**



Fonte: FERREIRA, F. F. et al., 2015

Na indústria química, o uso de colunas de destilação específicas para amônia, como observado por Zavaleta Aguilar (2010), permite a separação térmica em ciclos de refrigeração por absorção do tipo NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O. Nessas colunas, o calor fornecido por um reboiler aquece a solução, promovendo a evaporação seletiva da amônia e sua condensação posterior. O autor destaca que “o projeto da coluna de destilação é essencial para garantir pureza adequada do vapor e estabilidade do processo” (ZAVALETA AGUILAR, 2010, p. 56).

“Os métodos mais utilizados para a determinação de N<sub>total</sub> são método Kjeldahl (método TKN), que é essencialmente um procedimento de oxidação úmida e método de Dumas, que é basicamente uma técnica de oxidação seca (combustão)” (FERREIRA, 2015)

A etapa inicial consiste na digestão da amostra com ácido sulfúrico concentrado

( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) em presença de um catalisador (como sulfato de cobre ou selênio), promovendo a quebra das ligações orgânicas e a liberação de nitrogênio na forma de íon amônio. Em seguida, o meio é tornado alcalino com adição de hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ), e o amônio é convertido em amônia ( $\text{NH}_3$ ), que é destilada e capturada em solução ácida (geralmente ácido bórico). A quantidade de amônia é então determinada por titulação, geralmente com ácido clorídrico ( $\text{HCl}$ ) ou ácido sulfúrico padrão ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) (FERREIRA et al., 2015).

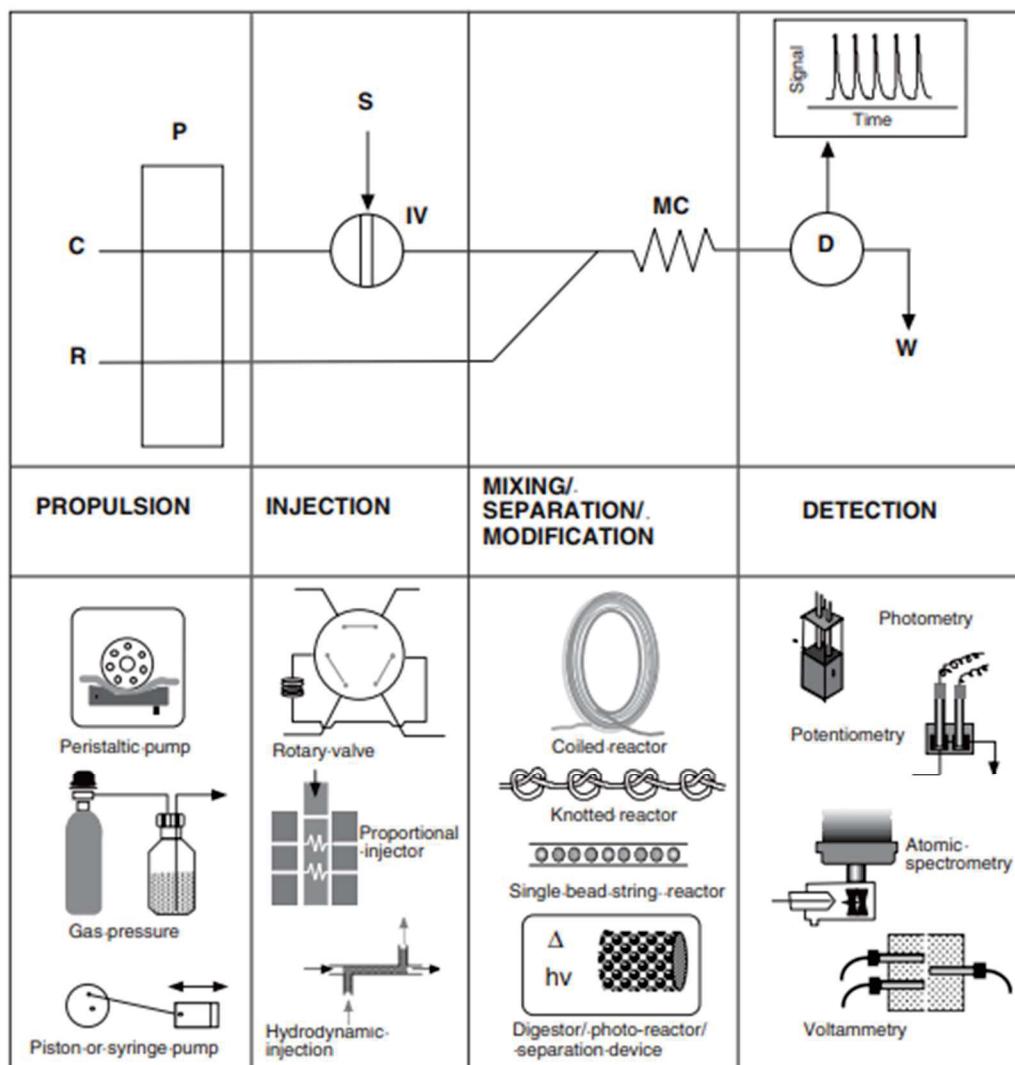
Esse método, embora mais trabalhoso e demorado que técnicas instrumentais modernas, como espectrofotometria ou análise por dessorção térmica, continua sendo referência por sua confiabilidade e baixo custo. É especialmente importante em estudos de eficiência de fertilizantes nitrogenados, como no monitoramento de amônia volatilizada ou retida no solo após aplicação de ureia. Ainda em contexto nacional, Rodrigues (1983) investigou a perda de amônia por volatilização em solos tratados com ureia. Embora o foco do estudo esteja na agricultura, o autor utilizou métodos de destilação para quantificar a concentração de amônia livre no solo, destacando a aplicabilidade da técnica em diferentes matrizes.

#### **2.1.7. Sistema FIA**

Dessa forma, a destilação da amônia assume papel relevante tanto em escalas industriais quanto laboratoriais, com destaque para sua eficiência na recuperação do composto e seu potencial de reaproveitamento, contribuindo para processos mais sustentáveis.

Também será utilizada como outra alternativa para a análise o uso do sistema de Análise por Injeção em Fluxo (FIA), tendo em vista sua alta versatilidade, confiabilidade nos dados e baixa utilização de reagentes.

Figura 11: Esquema de sistema FIA



**Figure 1** Schematic diagram of a simple flow injection analysis (FIA) system, showing various options for sample and reagent delivery, injection, mixing and detection.

Fonte: Konieczna, 2012

A análise por injeção em fluxo envolve a injeção rápida de uma amostra em um fluxo contínuo de carregador não-segmentar de uma ou mais soluções contendo reagentes que confluem continuamente com o carregador, anteriormente à detecção. A zona de amostra injetada sofre dispersão, sendo misturada com as soluções carregadora e reagente. O produto resultante é transportado em direção a um detector no qual ocorrerão as medidas e, daí então, para o descarte (Konieczna, 2012).

Por fim, com todos esses dados em mente poderemos realizar a devida instalação e condução do experimento, assegurando dessa forma uma alta qualidade

de informações e segurança durante o processo.

### **3. Metodologia**

#### **3.1. Instalação, coleta e preparo do solo**

O experimento foi conduzido no Laboratório de Isótopos Estáveis (LIE) do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA/USP). O solo já fora coletado, proveniente da camada superficial (0-20 cm) em Piracicaba, São Paulo (21°43'7" S, 47°36'55" O) (Latossolo). O mesmo foi exposto ao ar, para que fosse possível o processo de secagem, peneirado com uma peneira de malha <2 mm e distribuído em parcelas experimentais. Posteriormente, foi caracterizado física e quimicamente conforme protocolos descritos por Teixeira et al. (2017) e Raij et al. (1997).

#### **3.2. Parcelas experimentais e formulações fertilizantes**

Cada parcela experimental foi composta por recipientes de polietileno com volume de 1.300 mililitros (mL), contendo 800 gramas de solo seco com 60% da capacidade máxima de retenção de água (CMRA), determinada segundo Mariano et al. (2017). As parcelas foram pré-incubadas por um período de 7 (sete) dias a 25°C, visando obter uma estabilidade do ambiente para a aplicação dos fertilizantes. Após este período, as unidades experimentais seguiram submetidas aos tratamentos: I) controle (sem adição de fertilizante nitrogenado); II) ureia; III) ureia revestida com NBPT; IV) ureia revestida com DCD; V) ureia revestida com NBPT e DCD; VI) ureia incorporada com NBPT e DCD; e VII) ureia incorporada com DCD. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições por tratamento.

A preparação das formulações fertilizantes ocorreu de forma concomitante à coleta do solo. Para os tratamentos com ureia revestida, foi utilizado melão como fixador dos inibidores, com o intuito de garantir maior aderência dos compostos à superfície dos grânulos. Já nos tratamentos com ureia incorporada, foram preparadas soluções contendo os inibidores, que, após homogeneização, passaram pelo processo de cristalização por evaporação da água, originando uma mistura sólida. Os

crístais formados, foram transformados em grânulos para que retomassem a forma original da ureia. Realizou-se uma triagem dos grânulos de ureia por meio de peneiras com malhas de 4 milímetros (mm) para os grânulos maiores e de 2 mm para os fragmentos menores.

**Figura 11: Esquema de sistema FIA**



Fonte: arquivo pessoal

Figura 13: Preparo da ureia revestida com DCD



Fonte: arquivo pessoal

### 3.3. Aplicação do nitrogênio e instalação das armadilhas

Cada unidade experimental recebeu o equivalente a  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N para a cultura da cana-de-açúcar, totalizando  $2700 \text{ mg kg}^{-1}$  ( $2160 \text{ mg N}$  por unidade experimental). Em cada recipiente foi instalada uma armadilha ácida composta por  $40 \text{ mL}$  de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) a  $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ , posicionada acima da superfície do solo, utilizando-se um suporte interno e um recipiente plástico acoplado. O objetivo desse sistema é capturar o amônio volatilizado sob a forma de amônia ( $\text{NH}_3$ ). As armadilhas foram substituídas em quatorze momentos distintos: nos dias 0 (controle), 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 11, 15, 19, 23, 30, 45 e 60 após a aplicação dos tratamentos. Durante a troca das armadilhas ácidas foi determinado o pH do solo utilizando eletrodo de pH para semissólidos (modelo Hanna FC 240B). As medidas de pH foram sempre realizadas no mesmo local para evitar perturbação significativa do solo.

Figura 14: potes com fertilizante adicionado



Fonte: arquivo pessoal

### 3.4. Quantificação da amônia volatilizada

A amônia retida na armadilha ácida foi quantificada por análise por injeção em fluxo (*Flow Injection Analysis – FIA*) (Reis et al., 1997). A taxa de emissão de  $\text{NH}_3$  também foi quantificada conforme Mariano et al. (2019):  $TPNH_3 = \{(N_{fert} - N_{con}) / \Delta t\} / N_{dose} * 100$ , onde  $TPNH_3$  (% do N aplicado  $\text{dia}^{-1}$ ) é a taxa de perda de  $\text{NH}_3$ ;  $N_{fert}$  (mg N- $\text{NH}_3$  parcela $^{-1}$ ) e  $N_{con}$  (mg N- $\text{NH}_3$  parcela $^{-1}$ ) representam a emissão de amônia em cada subperíodo em parcelas fertilizadas e não fertilizadas, respectivamente;  $\Delta t$  (dias) é o intervalo de tempo entre as trocas de armadilhas ácidas; e  $N_{dose}$  (mg N parcela $^{-1}$ ) é a dose de N aplicada. As perdas cumulativas foram estimadas pela soma das emissões de N- $\text{NH}_3$  nos diferentes subperíodos.

### 3.5. Análises estatísticas

Os dados experimentais foram analisados no R (versão 4.3.2 ou superior, R Core Team) usando o RStudio como ambiente de desenvolvimento (versão 2023.12.1

+402, Posit Software). Modelos lineares generalizados foram utilizados para os dados brutos de perda de NH<sub>3</sub> e pH do solo, sendo analisados como medidas repetidas no tempo. Os modelos foram avaliados pela distribuição dos resíduos e valores ajustados. Uma ANOVA de duas vias analisou o efeito principal e interativo dos fatores. As perdas cumulativas foram analisadas considerando o efeito fixo dos fertilizantes. Médias e dos dados brutos e parâmetros dos modelos foram separadas pelo teste Tukey, com nível de significância de 5%.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como citado na seção anterior deste trabalho, as amostras obtidas foram analisadas pelo sistema FIA e rodadas no software R, possibilitando a geração dos seguintes dados:

##### 4.1. Perda diária de N- NH<sub>3</sub>

**Perda diária de N-NH<sub>3</sub> após aplicação dos fertilizantes nitrogenados ao longo dos 75 dias após aplicação (DAA) dos fertilizantes. Valores representam a média ± erro padrão da média (n = 5).**

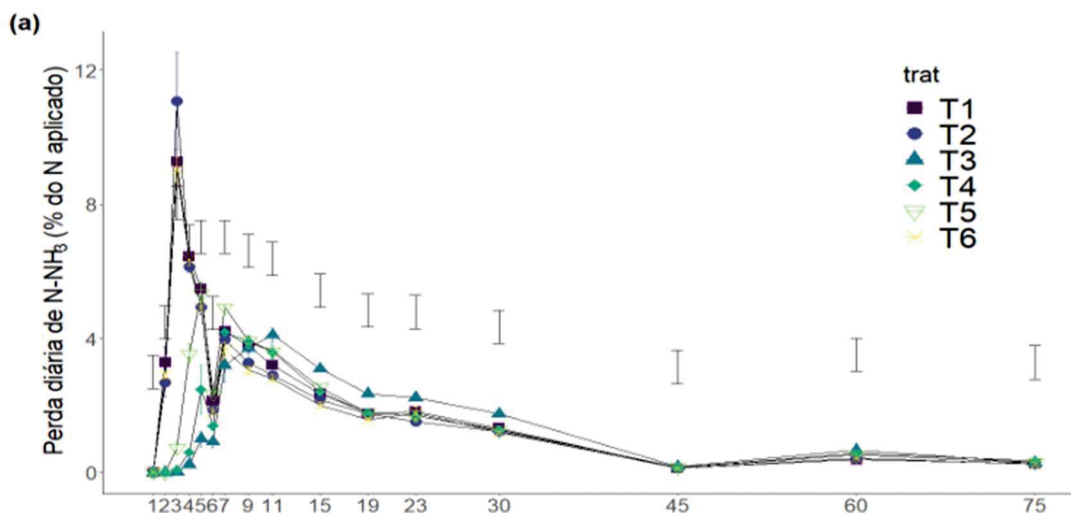
Tabela 1: Perda diária de N-NH<sub>3</sub>

DAA	Perda diária de N-NH <sub>3</sub> (% do N aplicado)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0	0,00 ± 0,00 aG	0,00 ± 0,00 aK	0,00 ± 0,00 aE	0,00 ± 0,00 al	0,00 ± 0,00 aJ	0,00 ± 0,00 aJ
1	0,00 ± 0,00 aG	0,00 ± 0,00 aK	0,00 ± 0,00 aE	0,00 ± 0,00 al	0,00 ± 0,00 aJ	0,00 ± 0,00 aJ
2	3,29 ± 1,03 aCD	2,67 ± 0,89 aEFG	0,00 ± 0,00 bE	0,00 ± 0,00 bl	0,00 ± 0,00 bJ	2,90 ± 0,23 aDEF
3	9,27 ± 2,46 bA	11,08 ± 3,22 aA	0,02 ± 0,01 cE	0,07 ± 0,03 cl	0,74 ± 0,38 cGHIJ	9,03 ± 0,82 bA
4	6,44 ± 0,67 aB	6,13 ± 0,35 aB	0,23 ± 0,14 cE	0,61 ± 0,20 cEFGHI	3,54 ± 0,65 bcd	6,35 ± 0,40 aB
5	5,47 ± 0,44 aB	4,93 ± 0,51 aC	1,00 ± 0,51 cDE	2,48 ± 1,59 bBC	5,33 ± 0,79 aA	4,93 ± 0,35 aC

6	2,14 ± 0,18 aDE	1,87 ± 0,16 abFGH	0,92 ± 0,39 bDE	1,39 ± 0,30 abCDEFG	2,35 ± 0,18 aEF	1,83 ± 0,24 abFG
7	4,22 ± 0,18 abC	3,97 ± 0,20 abcCD	3,19 ± 1,10 cAB	4,18 ± 0,28 abA	4,93 ± 0,17 aAB	3,65 ± 0,51 bcD
9	3,76 ± 0,39 aC	3,28 ± 0,17 aDE	3,71 ± 0,84 aAB	3,92 ± 0,34 aA	3,93 ± 0,21 aBC	3,06 ± 0,25 aDE
11	3,20 ± 0,29 abCD	2,90 ± 0,15 bDEF	4,10 ± 0,45 aAB	3,59 ± 0,46 abAB	3,62 ± 0,18 abCD	2,79 ± 0,27 bDEF
15	2,36 ± 0,20 abDE	2,16 ± 0,16 abEFGH	3,09 ± 0,11 aAB	2,41 ± 0,29 abBCD	2,55 ± 0,10 abDE	2,02 ± 0,19 bEFG
23	1,77 ± 0,19 aE	1,75 ± 0,11 aFGH	2,35 ± 0,19 aBC	1,78 ± 0,27 aCDE	1,78 ± 0,06 aEFG	1,58 ± 0,12 aGH
30	1,81 ± 0,37 aE	1,52 ± 0,10 aGHI	2,23 ± 0,21 aBC	1,69 ± 0,37 aCDEF	1,69 ± 0,21 aEFGH	1,77 ± 0,46 aFG
45	1,33 ± 0,15 aEF	1,23 ± 0,08 aHIJ	1,75 ± 0,17 aCD	1,28 ± 0,25 aDEFGH	1,26 ± 0,09 aFGHI	1,20 ± 0,07 aGHI
60	0,13 ± 0,02 aG	0,14 ± 0,01 aJK	0,18 ± 0,01 aE	0,16 ± 0,03 aHI	0,15 ± 0,01 aIJ	0,13 ± 0,02 aIJ
75	0,39 ± 0,06 aFG	0,44 ± 0,07 aIJK	0,66 ± 0,11 aDE	0,57 ± 0,05 aFGHI	0,53 ± 0,08 aHIJ	0,43 ± 0,07 aHIJ

---

Fonte: arquivo pessoal

Gráfico 1: perda diária de N-NH<sub>3</sub>

Fonte: arquivo pessoal

**Legenda:** T1: Ureia; T2: Ureia+DCD revestido; T3: Ureia+NBPT revestido; T4: Ureia+NBPT+DCD revestido; T5: Ureia+DCD+NBPT incorporado; T6: Ureia+DCD incorporado. Médias seguidas por uma letra maiúscula em comum nas colunas e por uma letra minúscula em comum nas linhas não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Em primeira análise, observa-se que a influência dos inibidores e como sua forma de aplicação interferiu nas perdas diárias. Dessa forma, alguns tratamentos mantiveram certa semelhança entre si, possibilitando estabelecer uma relação. Assim, utilizando a tabela como referência, podem ser afirmadas certas relações entre os inibidores e suas formas de incorporação.

Primeiramente, associa-se a utilização e a combinação de diferentes inibidores à ureia. Nesse sentido, verifica-se que a utilização do inibidor dicianodiamida isolado nos tratamentos T2 e T6 apresentou alta similaridade com a ureia sem inibidores (T1) durante quase todo o experimento, tendo como exceção apenas os dias 6, 7, 11 e 15, quando o DCD apresentou comportamento semelhante a outros tratamentos. Além disso, observa-se que os tratamentos com os inibidores NBPT+DCD (T4 e T5) apresentaram comportamento semelhante à ureia revestida apenas com NBPT (T3)

durante boa parte da condução. Entretanto, no dia 4 ocorreu uma diferenciação entre T3 e T5, e no dia 7 os valores dos três tratamentos variaram, indicando mudanças comportamentais.

Outrossim, ao relacionar as diferenças de revestimento e incorporação entre os tratamentos, também se percebem distinções. Ao comparar T4 com T5, nota-se que entre os dias 4 e 5 houve diferenças entre os tratamentos, indicando que T5 apresentou maiores perdas. Por outro lado, T2 e T6 mantiveram-se praticamente iguais, sugerindo que a forma de incorporação não afetou o efeito do inibidor sobre o fertilizante.

Portanto, pode-se afirmar que a utilização de diferentes inibidores alterou a emissão diária de  $N-NH_3$ . Observa-se que os fertilizantes que utilizaram somente o inibidor DCD e a ureia apresentaram um pico de volatilização maior nos primeiros dias, podendo ser correlacionados. Por outro lado, os fertilizantes com os inibidores DCD e NBPT em conjunto, ou com NBPT isolado, apresentaram um retardamento do efeito, com picos entre os dias 7 e 11. Nota-se também que, a partir do dia 23, a emissão se mantém semelhante para todos os tratamentos, indicando convergência a partir desse período.

Em outras palavras, pode-se associar esses valores de perda diária com o tipo de inibidor utilizado. Ou seja, os tratamentos que utilizaram somente o inibidor DCD tem uma tendência a valores maiores de volatilização, já que o mesmo se encaixa como inibidor de nitrificação, assim, não alterando o processo de volatilização. Por outro lado, os tratamentos com NBPT possuem valores melhores, tendo em vista que ele é um inibidor de volatilização.

#### 4.2. Perda cumulativa de N-NH<sub>3</sub>

Perda cumulativa de N-NH<sub>3</sub> após aplicação dos fertilizantes nitrogenados ao longo dos 75 dias após aplicação (DAA) dos fertilizantes. Valores representam a média ± erro padrão da média (n = 5).

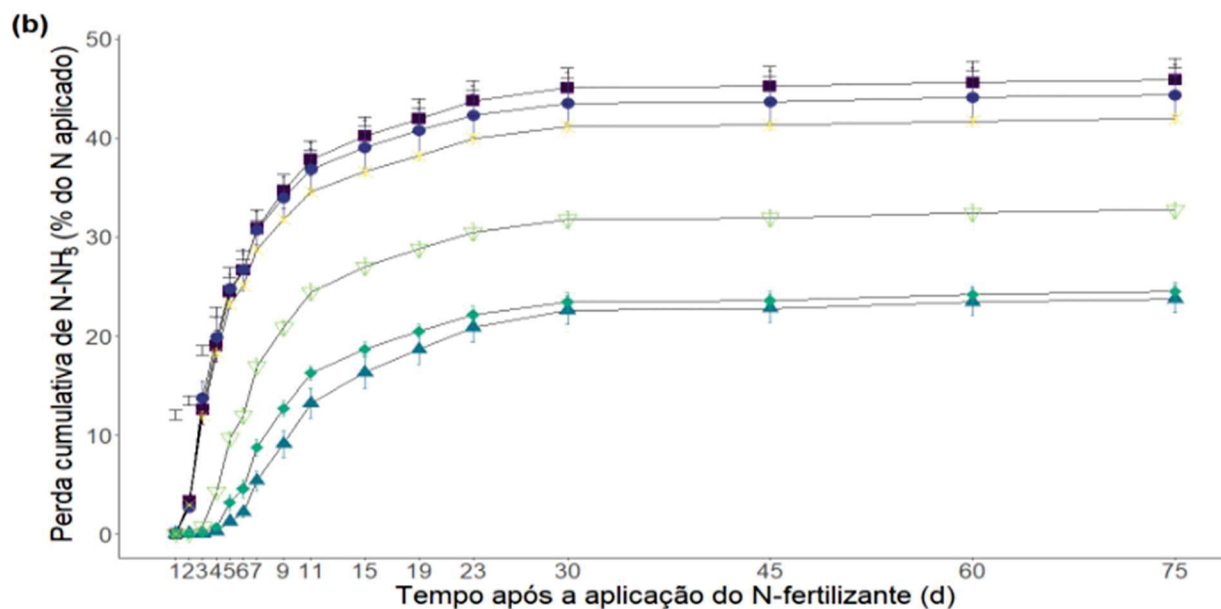
Tabela 2: Perda cumulativa de N-NH<sub>3</sub>

DAA	Perda cumulativa de N-NH <sub>3</sub> (% do N aplicado)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0	0,00 ± 0,00 aJ	0,00 ± 0,00 aJ	0,00 ± 0,00 aH	0,00 ± 0,00 aG	0,00 ± 0,00 aH	0,00 ± 0,00 aJ
1	3,29 ± 1,03 aJ	2,67 ± 0,89 aJ	0,00 ± 0,00 aH	0,00 ± 0,00 aG	0,00 ± 0,00 aH	0,00 ± 0,00 aJ
2	12,56 ± 3,40 aJ	13,75 ± 3,90 aJ	0,00 ± 0,00 aH	0,00 ± 0,00 aG	0,00 ± 0,00 aH	2,90 ± 0,23 aJ
3	19,00 ± 3,66 aI	19,88 ± 4,16 aI	0,02 ± 0,01 bH	0,07 ± 0,03 bG	0,74 ± 0,38 bH	11,93 ± 0,96 aI
4	24,47 ± 3,81 aH	24,81 ± 4,63 aH	0,25 ± 0,15 bH	0,68 ± 0,22 bG	4,28 ± 0,96 bH	18,29 ± 1,08 aH
5	26,61 ± 3,76 aG	26,67 ± 4,72 aG	1,25 ± 0,65 cGH	3,16 ± 1,78 cG	9,61 ± 1,65 bGH	23,21 ± 0,86 aGH
6	30,83 ± 3,68 aFG	30,64 ± 4,58 aFG	2,17 ± 1,04 cGH	4,55 ± 2,03 cFG	11,95 ± 1,79 bFG	25,04 ± 0,66 aFG
7	34,59 ± 3,83 aEF	33,93 ± 4,59 aEF	5,36 ± 2,12 cFG	8,73 ± 1,82 cEF	16,88 ± 1,70 bEF	28,70 ± 0,48 aEF
9	37,79 ± 3,70 aDE	36,83 ± 4,71 aDE	9,07 ± 2,95 cEF	12,65 ± 1,67 cDE	20,80 ± 1,62 bDE	31,75 ± 0,67 aDE
11	40,15 ± 3,60 aCD	38,99 ± 4,75 aCD	13,16 ± 3,38 cDE	16,24 ± 1,50 cCD	24,43 ± 1,71 bCD	34,55 ± 0,86 aCD

15	41,91 ± 3,59 aBC	40,74 ± 4,73 aBC	16,26 ± 3,42 cCD	18,65 ± 1,54 cBC	26,98 ± 1,76 bBC	36,57 ± 0,99 aCBCD
23	43,73 ± 3,53 aABC	42,26 ± 4,70 aABC	18,61 ± 3,28 cBC	20,44 ± 1,56 cABC	28,76 ± 1,77 bABC	38,15 ± 1,08 aABC
30	45,05 ± 3,50 aAB	43,49 ± 4,64 aAB	20,84 ± 3,32 cABC	22,13 ± 1,81 cAB	30,46 ± 1,85 bAB	39,92 ± 1,15 aAB
45	45,18 ± 3,49 aAB	43,62 ± 4,64 aAB	22,59 ± 3,20 cAB	23,40 ± 1,97 cAB	31,72 ± 1,85 bAB	41,12 ± 1,14 aAB
60	45,58 ± 3,48 aA	44,06 ± 4,59 aAB	22,76 ± 3,20 cAB	23,56 ± 1,99 cAB	31,87 ± 1,84 bAB	41,25 ± 1,13 aAB
75	45,85 ± 3,44 aA	44,33 ± 4,55 aA	23,43 ± 3,09 cAB	24,13 ± 2,00 cA	32,40 ± 1,83 bA	41,68 ± 1,10 aA

---

Fonte: arquivo pessoal

Gráfico 2: Perda cumulativa de N-NH<sub>3</sub>Figura 16: Gráfico da perda cumulativa de N-NH<sub>3</sub>

Fonte: arquivo pessoal

**Legenda:** T1: Ureia; T2: Ureia+DCD revestido; T3: Ureia+NBPT revestido; T4: Ureia+NBPT+DCD revestido; T5: Ureia+DCD+NBPT incorporado; T6: Ureia+DCD incorporado. Médias seguidas por uma letra maiúscula em comum nas colunas e por uma letra minúscula em comum nas linhas não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Também temos como parâmetro comparativo a tabela que correlaciona a perda cumulativa de N-NH<sub>3</sub> com diferentes tratamentos. Dessa forma, obtemos dados que conversam com a outra tabela, possibilitando a associação.

Primeiramente, ao observar os dados dos tratamentos T1, T2 e T6 percebe-se alta similaridade durante toda a condução do experimento. Assim, ao relacionarmos os mesmos percebemos uma alta perda, com taxas que vão de 41,68% a 45,85%,

indicando que cerca de praticamente metade do fertilizante foi volatilizado, resultando assim em altas perdas.

Dando continuidade, tem-se como outros dados a relação entre os dados dos tratamentos T3, T4. Nesse sentido, vê-se que os dados desses tratamentos são similares durante todo o tratamento, tendo em vista que a sua perda foi praticamente a mesma durante todo esse período, sendo cerca de 24% do fertilizante aplicado. Por outro lado, o tratamento T5 demonstrou dados diferentes quando comparado aos outros, se mostrando ser mais eficiente quando comparado à ureia padrão e aos que utilizaram somente o DCD, mas não conseguindo acompanhar o desempenho do NBPT revestido e do NBPT + DCD revestido.

### 4.3. pH do solo

**pH do solo após aplicação dos fertilizantes nitrogenados tratados ou não com NBPT ou DCD ao longo dos 75 dias após aplicação (DAA) dos fertilizantes. Valores representam a média  $\pm$  erro padrão da média (n = 5).**

Tabela 3: pH do solo

DAA	pH do solo					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
3	9,07 $\pm$ 0,07 aAB	9,06 $\pm$ 0,07 aA	6,30 $\pm$ 0,27 cF	6,82 $\pm$ 0,12 bG	6,84 $\pm$ 0,37 bD	9,08 $\pm$ 0,06 aA
4	8,94 $\pm$ 0,18 aAB	9,00 $\pm$ 0,05 aAB	7,18 $\pm$ 0,35 dE	7,50 $\pm$ 0,35 cF	8,37 $\pm$ 0,21 bC	9,05 $\pm$ 0,02 aAB
5	8,99 $\pm$ 0,21 aABC	8,94 $\pm$ 0,09 aAB	7,99 $\pm$ 0,36 cD	8,42 $\pm$ 0,40 bDE	8,92 $\pm$ 0,03 aAB	9,04 $\pm$ 0,09 aAB
6	8,93 $\pm$ 0,20 aABC	8,94 $\pm$ 0,05 aABC	8,56 $\pm$ 0,25 bBC	8,61 $\pm$ 0,54 bCD	8,99 $\pm$ 0,04 aA	8,94 $\pm$ 0,09 aABC
7	9,01 $\pm$ 0,12 aABC	8,92 $\pm$ 0,08 aABC	8,75 $\pm$ 0,32 aAB	8,87 $\pm$ 0,27 aABC	9,02 $\pm$ 0,08 aA	8,87 $\pm$ 0,15 aABCD

9	8,89 ± 0,09 aABC	8,88 ± 0,06 aABC	9,02 ± 0,14 aA	9,04 ± 0,05 aA	8,95 ± 0,06 aAB	8,85 ± 0,08 aABCD
11	8,84 ± 0,15 aABC	8,75 ± 0,05 aABC	9,02 ± 0,19 aA	8,99 ± 0,09 aAB	8,84 ± 0,14 aAB	8,84 ± 0,08 aABCD
15	8,73 ± 0,07 aABC	8,72 ± 0,09 aABC	8,97 ± 0,06 aA	8,78 ± 0,07 aABC	8,79 ± 0,09 aAB	8,74 ± 0,17 aBCD
23	8,69 ± 0,15 aBCD	8,65 ± 0,15 aBC	8,86 ± 0,08 aAB	8,70 ± 0,15 aBCD	8,74 ± 0,05 aAB	8,72 ± 0,10 aBCDE
30	8,92 ± 0,12 aCD	8,84 ± 0,04 aCD	8,75 ± 0,08 aAB	8,58 ± 0,19 aCDE	8,62 ± 0,07 aBC	8,59 ± 0,06 aDE
45	8,75 ± 0,10 aABC	8,77 ± 0,07 aABC	8,97 ± 0,12 aA	8,81 ± 0,17 aABC	8,79 ± 0,12 aAB	8,81 ± 0,10 aABCD
60	8,46 ± 0,28 aABCD	8,31 ± 0,02 aABC	8,89 ± 0,13 aAB	8,69 ± 0,19 aBCD	8,77 ± 0,13 aAB	8,67 ± 0,09 aCDE
75	8,24 ± 0,07 aDE	8,33 ± 0,11 aE	8,59 ± 0,13 aBC	8,36 ± 0,25 aDE	8,39 ± 0,02 aC	8,39 ± 0,12 aEF

Fonte: arquivo pessoal

**Legenda:** T1: Ureia; T2: Ureia+DCD revestido; T3: Ureia+NBPT revestido; T4: Ureia+NBPT+DCD revestido; T5: Ureia+DCD+NBPT incorporado; T6: Ureia+DCD incorporado. Médias seguidas por uma letra maiúscula em comum nas colunas e por uma letra minúscula em comum nas linhas não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Dando seguimento, temos como outra fonte de dados o pH do solo durante o experimento. Dessa forma, podemos associar o pH com a quantidade de amônia volatilizada, pois a alcalinidade favorece a volatilização.

Assim, percebe-se que ocorreu uma baixa variação no pH durante o experimento, tendo como maior variação os tratamentos T3, T4 e T5 durante os

primeiros dias. Também, é possível perceber um padrão entre os tratamentos, pois os dados apresentam um decréscimo nos valores em decorrência do tempo, com os valores diminuindo após o dia 11.

Além disso, observa-se que os tratamentos que utilizaram somente DCD (T2 e T6) juntamente com a ureia convencional, já haviam estabelecidos níveis mais elevados de pH, enquanto os tratamentos que incluíam NBPT (T3, T4, T5) mantiveram níveis mais baixos, dessa forma associando com uma menor volatilização em função do pH de carácter ácido/neutro. Em virtude disso, relaciona-se esses valores menores com o processo de nitrificação, pois o mesmo ao oxidar o amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) acaba por liberar íons  $\text{H}^+$  no meio, dessa forma, abaixando o pH. Em contrapartida, o DCD acaba por inibir esse processo, não liberando os íons  $\text{H}^+$  no meio, o que possibilita a alcalinização, e por consequência a volatilização.

## 5. CONCLUSÃO

Portanto, pode-se concluir, com base nos resultados obtidos, que o tratamento mais eficiente na inibição da volatilização do  $\text{N-NH}_3$  é T3, constituído pela ureia revestida com NBPT. Logo, tratamentos que se aproximaram do mesmo, se demonstraram com alta eficiência, como é o caso do T4, sendo a ureia revestida com NBPT + DCD.

Tendo esses dados em vista, ao comparar os dois tratamentos citados acima, vemos que suas eficiências beiram uma redução de 20% quando comparado a ureia convencional. Assim, fatores como custo do produto são rebatidos pela alta duração do fertilizante após a aplicação, sendo dessa forma, mais lucrativo a longo prazo, pois fatores como manejo e aplicação são reduzidos em prol da maior durabilidade.

Todavia, vemos que a aplicação do inibidor está diretamente associada com sua eficiência. Dessa forma, quando comparados os tratamentos T4 e T5, vemos que a eficiência quanto ao revestimento se demonstrou superior, mantendo-se rente aos valores obtidos pelo T3. Nesse sentido, pode-se teorizar que o contato total dos inibidores serviu como uma espécie de camada protetora, que ao ser solubilizada entrou em contato com a urease presente, servindo como camada protetora para o solo. Em contrapartida, a teoria de que a disponibilidade fracionada dos inibidores

melhoraria o desempenho, pois manteria os inibidores por mais tempo no solo, foi descartada.

Em suma, conclui-se que a utilização do revestimento como aplicação para os inibidores se demonstrou mais eficiente, além de maior rentabilidade e facilidade do preparo e manuseio do produto, dessa forma melhorando o custo. Recomenda-se em futuros projetos a aplicação dos fertilizantes em condições de casa de vegetação, a fim de analisar o comportamento perante diferentes culturas.

## 6. REFERÊNCIAS

AGROADVANCE. **Fertilizantes nitrogenados: tecnologias que aumentam a eficiência e reduzem perdas**. AgroAdvance, 2022.

Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-fertilizantes-nitrogenados-tecnologias/>. Acesso em: 26 jun. 2025.

AMBUS, P.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S. **Denitrification and N-cycling in forest ecosystems**. In: BOTHE, H.; FERGUSON, S.J.; NEWTON, W.E. (Eds.). *Biology of the nitrogen cycle*. Amsterdam:

Elsevier, 2007. p. 343-358. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780444528575500230>. Acesso em: 31 ago. 2025.

AQUAPORTAIL. **Molécula de urease**. 2023. Disponível em:

<https://www.aquaportail.com/>. Acesso em: 06 ago. 2025.

AQUAPORTAIL. **Urease**. Aquaportail – Dicionário de Biologia Aquática, 2023. Disponível em:

<https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/959/urease>. Acesso em: 26 jun. 2025.

BARTH, G. **Efeito de inibidores de urease e de nitrificação nas transformações do nitrogênio e nas perdas por volatilização de amônia em solos**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, n. 6, p. 1779–1791, 2009. Acesso em: 26 jun. 2025.

BYRNES, B. H.; FRENEY, J. R. **Strategies for reducing nitrogen losses in agricultural systems**. *Fertilizer Research*, v. 42, p. 213–222, 1995. Acesso em: 26 jun. 2025.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. (org.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375–470. Acesso em: 26 jun. 2025.

CEPEA. **Produto Interno Bruto do Agronegócio Brasileiro**.

Piracicaba: ESALQ/USP; CNA, 2025. Disponível em:

<https://www.cepea.org.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 6 ago. 2025.

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; CANTARELLA, H. **Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts**. *Advances in Agronomy*, v. 102, p. 267–322, 2009. Acesso em: 26 jun. 2025.

DOHANIK, C. A. **Avaliação do uso de fertilizantes nitrogenados na agricultura. 2022**. Dissertação (Mestrado) — UFMG. Disponível em:

[https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/69568/4/Dissertação\\_Caroline%20DohaniK](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/69568/4/Dissertação_Caroline%20DohaniK). Acesso em: 6 ago. 2025.

DOHANIK, P. G. **Avaliação da lixiviação de nitrogênio em sistemas agrícolas**. 2020. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) — Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2020. Acesso em: 26 jun. 2025.

DOMINGUEZ, M. J. et al. **Urease inhibitors for environmental and agricultural applications: a review**. *Current Protein and Peptide Science*, v. 9, p. 184–200, 2008. Acesso em: 26 jun. 2025.

EMBRAPA. **Recomendação de calagem e adubação**. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1134679/1/cap14-livro-RecomendacaoCalagemAdubacao-AnaLuciaBorges-AINFO.pdf>. Acesso em: 6 ago. 2025.

EMBRAPA. **Síntese de amônia e perdas de nitrogênio no solo**. Brasília: Embrapa, 2018. Acesso em: 26 jun. 2025.

EMBRAPA. **Use of NBPT in reducing ammonia volatilization in Amazonian soils**. Embrapa/ResearchGate, PDF, 2018. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1128979/1/cpafr-o-18499.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2025.

ESPINDULA, M. C. et al. **Processo de produção de ureia e amônia**. Instituto Federal da Bahia, 2021. Disponível em: <https://www.ifba.edu.br/professores/iarasantos/ENG%20504%20%20Pr ocessos%20Químicos/PROCESSOS%20QUÍMICOS%20 aulas/fabricaç ão%20de%20nitrogenados%20e%20ureia.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2025.

FERREIRA, M. et al. **Dicianodiamida como inibidor da nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos no solo**. *Ciência Rural*, v. 46, n. 5, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141664>. Acesso em: 23 jun. 2025.

HIJ MACHINERY. **Dry granulation: the definitive guide**. 2019. Disponível em: <https://pt.trustarpack.com/info/dry-granulation-the-definitive-guide-39688499.html>. Acesso em: 26 jul. 2025.

HIJ MACHINERY. **Wet granulation: the best guide for beginners and professionals**. 2019 Disponível em: <https://pt.trustarpack.com/info/wet-granulation-the-ultimate-guide-for-beginn-38520463.html>. Acesso em: 26 jul. 2025

IFBA – Instituto Federal da Bahia. **Produção industrial da ureia**. 2021. Disponível em: <https://www.ifba.edu.br/>. Acesso em: 06 ago. 2025.

KONIECZNA, I. et al. **Bacterial urease and its role in long-lasting human diseases**. *Current Protein and Peptide Science*, v. 13, n. 8, p. 789–806, dez. 2012. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7565414>. Acesso em: 7 ago. 2025.

KONIECZNA, A. **Flow Injection Analysis: principles and applications**. *Journal of Flow Chemistry*, v. 2, n. 1, p. 11–22, 2012. Acesso em: 25 jun. 2025.

LÓPEZ, A.; JESUS, H. S. de; ROCHA, M. de M.; FRIES, M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R. **Diagnóstico do potencial de nitrificação e desnitrificação em solo sob pastagens de *Brachiaria* sp. e solo sob plantio direto e convencional.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, nov. 1998. 24 p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 78). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/624300>. Acesso em: 31 out. 2025.

MANITOBA. **Enhanced efficiency additives for nitrogen.** Manitoba Agriculture and Resource Development, 2020. Disponível em: <https://www.gov.mb.ca/agriculture/crops/soil-fertility/print,enhanced-efficiency-additives-for-nitrogen.html>. Acesso em: 15 jun. de 2025

MARIANO, E. et al. **Soil nitrogen availability indices as predictors of sugarcane nitrogen requirements.** *European Journal of Agronomy*, v. 89, p. 25–37, 2017. Acesso em: 01 out. 2025.

MARTENS, D. A. **Nitrogen cycling and gaseous losses in soils.** *Soil Biology and Biochemistry*, v. 37, n. 5, p. 905–915, 2005. Acesso em: 25 jun. 2025.

MCLAIN, J. E. T.; MARTENS, D. A. **Nitrous oxide flux from soil amino acid mineralization.** *Soil Biology and Biochemistry*, v. 37, n. 2, p. 289–299, fev. 2005. DOI: 10.1016/j.soilbio.2004.03.013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.03.013>. Acesso em: 15 jun. de 2025

MCARTY, G. W. **Mode of action of nitrification inhibitors.** *Biology and Fertility of Soils*, v. 29, n. 1, p. 1–9, 1999. Acesso em: 15 jun. de 2025

MOTASIM, A. M. et al. **Urea application in soil: processes, losses, and alternatives — a review.** 2024. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/382664308\\_Urea\\_application\\_in\\_soil\\_processes\\_losses\\_and\\_alternatives-a\\_review](https://www.researchgate.net/publication/382664308_Urea_application_in_soil_processes_losses_and_alternatives-a_review). Acesso em: 6 ago. 2025.

NEETESON, J. J.; CARTON, O. Nitrogen and phosphorus losses from agriculture. *Environmental Pollution*, 2001. Acesso em: 6 ago. 2025.

OLIVEIRA, A. P. S. et al. **Solução ácida para quantificar volatilização de NH<sub>3</sub> na Amazônia.** Embrapa, 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1140314/solucoes-acidas-para-quantificar-a-volatilizacao-de-amonia-nh3-do-solo-da-amazonia-mato-grossense>. Acesso em: 21 jun. 2025.

PINTO, J. S. **Redução da volatilização de N-NH<sub>3</sub> de dejetos líquidos de suínos acidificado com diferentes ácidos.** 2023. Disponível em: [https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/6660/5/Juliana\\_Pinto.2023.pdf](https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/6660/5/Juliana_Pinto.2023.pdf). Acesso em: 21 jun. 2025.

PORT, C. M. et al. **Effect of acidifying amendments on ammonia volatilization from soils**. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 35, n. 2, p. 161–167, 2003.

QUADRO LEADING PROCESS EQUIPMENT INNOVATION. **What is wet granulation?** 2024. Disponível em: <https://www.quadro-mpt.com/news-and-events/what-is-wet-granulation>. Acesso em: 25 jul. 2025.

RAIJ, B. van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), 1997. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/509728703/RAIJ-B-Van-Etal-Recomendacoes-de-Adubacao-e-Calagem-Para-o-Estado-de-Sao-Paulo-1997>. Acesso em: 30 nov. 2025.

SANGOI, L. et al. **Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 493–502, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/sLFYvMczLq4rf95RKL6YdTJ/>. Acesso em: 26 jun. 2025.

SAHRAWAT, K. L. **Inhibition of nitrification in soils**. *Advances in Agronomy*, 1980. Acesso em: 6 ago. 2025.

SCIMAGO. Institutions Rankings — **resumo do artigo “Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease”**. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/sLFYvMczLq4rf95RKL6YdTJ/>. Acesso em: 21 jun. 2025.

SILVA, D. F. et al. **Volatilização de amônia do solo após doses de ureia com inibidores de urease e de nitrificação na cultura do abacaxi**. *Revista Ceres*, v. 64, n. 3, p. 327–335, 2017. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832011000200018](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832011000200018). Acesso em: 23 jun. 2025.

SILVA, J. R. et al. **Dinâmica da ureia no solo: perdas e alternativas**. Semantic Scholar, 2021. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/806f/5697163143decf0e6486500ae521701d14e7.pdf>. Acesso em: 6 ago. 2025.

SOARES, J. R.; CANTARELLA, H.; MENEGALE, M. L. C. **Ammonia volatilization losses from surface-applied urea with urease and nitrification inhibitors**. 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/73530>. Acesso em: 23 jun. 2025.

SOUZA, L. C. et al. Efficiency of urease inhibitors in nitrogen fertilization. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2017. Acesso em: 6 ago. 2025.

TASCA, F. A. et al. **Avaliação de fontes estabilizadas de nitrogênio como alternativa para aumentar a eficiência do uso em pastagens.**

*Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, p. 512–524, 2015.

Disponível em: [https://www.rbcjournal.org/wp-content/uploads/articles\\_xml/0100-0683-rbcs-39-2-0512/0100-0683-rbcs-39-2-0512.x31414.pdf](https://www.rbcjournal.org/wp-content/uploads/articles_xml/0100-0683-rbcs-39-2-0512/0100-0683-rbcs-39-2-0512.x31414.pdf). Acesso em: 26 jun. 2025.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl.**

Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1085209>. Acesso em: 30 nov. 2025.

ZAVALETA AGUILAR, A. **Colunas de destilação para sistemas de refrigeração por absorção NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O.** Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Nacional Autónoma do México, 2010. Acesso em: 25 jun. 2025.