

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Carlos Arthur Gonçalves de Oliveira

**Emissão de óxido nitroso e produtividade do milho com a utilização de diferentes
fertilizantes nitrogenados**

Curitibanos

2023

Carlos Arthur Gonçalves de Oliveira

Emissão de óxido nitroso e produtividade do milho com a utilização de diferentes fertilizantes nitrogenados

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Rurais, Campus Curitibanos da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Adams Weiler

Curitibanos

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Oliveira, Carlos Arthur Gonçalves de
Emissão de óxido nitroso e produtividade do milho com a utilização de diferentes fertilizantes nitrogenados / Carlos Arthur Gonçalves de Oliveira ; orientador, Douglas Adams Weiler, 2023.
41 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Graduação em Agronomia, Curitibanos, 2023.

Inclui referências.

1. Agronomia. 2. Óxido nitroso. 3. Milho. 4. Nitrogênio. I. Weiler, Douglas Adams. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Agronomia. III. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Coordenação do Curso de Graduação em Agronomia

Rodovia Ulysses Gaboardi km3

CP: 101 CEP: 89520-000 - Curitibanos - SC

TELEFONE (048) 3721-4174 E-mail: agronomia.cbs@contato.ufsc.br.

CARLOS ARTHUR GONÇALVES DE OLIVEIRA

Emissão de óxido nitroso e produtividade do milho com a utilização de diferentes fertilizantes nitrogenados

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Agrônomo, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Agronomia.

Curitibanos, 05 de junho de 2023.

Prof. Dr. Douglas Adams Weiler
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente

Douglas Adams Weiler

Data: 21/06/2023 19:32:02-0300

CPF: ***.111.820-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Douglas Adams Weiler
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente

Sonia Purin

Data: 22/06/2023 07:43:03-0300

CPF: ***.293.969-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Sonia Purin da Cruz
Membro da banca examinadora
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente

Kelen Cristina Basso

Data: 22/06/2023 08:49:36-0300

CPF: ***.664.788-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Kelen Cristina Basso
Membro da banca examinadora
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus e Nossa Senhora Aparecida, que me protegeram e me guiaram até aqui.

Agradeço imensamente minha família, minha mãe e meu pai, Maria Ines e Carlos, que me apoiaram incondicionalmente em toda minha jornada, me dando forças, orientando, incentivando e nunca medindo esforços para me auxiliar no que fosse preciso. Se cheguei até aqui, podendo realizar esse sonho, lhes devo muito. Ainda agradeço a minha irmã Emanuela, que sempre esteve ao meu lado me apoiando. Estendo meus agradecimentos ao meu avô Miguel e minha avó Elisabet, assim como para meus tios e tias e primos!

Agradeço a minha amada Gabrielle, que se manteve ao meu lado sempre, com todo amor e carinho, auxiliando em meu crescimento e dando forças para continuar. Agradeço todo esforço dedicado a mim e cada palavra de conforto. Também a nova família que me proporcionou Silvia, Rodrigo e Vicente e Allan, Andreia e Djanira. Também as nossas Pet, Clorofila e Estrela.

Ainda agradeço aos meus amigos que adquiri nestes anos de graduação, Emerson, Estela, Samyra, Eduardo, Tainara, Gabriel, Vinícius, Paulo, Mateus, Ricardo, Flavia e Rafael. Obrigado por tonar todos esses anos mais leves e descontraídos e auxiliar em meu desenvolvimento pessoal.

Agradeço também ao meu orientador Douglas, por ter me aceito em seu grupo, por todo o conhecimento repassado e todas as palavras dirigidas a mim durante este período. Sendo de grande valia para meu crescimento pessoal. Obrigado!

Também ao meu grupo de estudos de manejo e conservação do solo e da água, em especial aos que auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho, Rosiéle, Marlos e Valéria.

A todos o meu muito obrigado!

RESUMO

O milho é uma cultura muito relevante no cenário da produção agrícola mundial. A cultura é muito responsiva a fertilização do solo, principalmente ao nitrogênio, sendo este, juntamente com a disponibilidade hídrica, um fator limitante para atingir altas produtividades. O presente experimento teve como objetivo avaliar a aplicação dos fertilizantes nitrogenados ureia, ureia+NBPT e nitrato de amônio para aumentar a produtividade da cultura e mitigar as emissões de óxido nitroso (N_2O) do solo. As emissões foram determinadas através de coletas utilizando câmaras estáticas, entre 09:00 e 11:00 horas, desde a aplicação dos fertilizantes até o final do ciclo da cultura. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados, com 4 tratamentos e 4 repetições, na fazenda experimental da Universidade Federal de Santa Catarina, campus de Curitibanos/SC. Os tratamentos eram compostos por: (T1) testemunha; (T2) ureia comum; (T3) ureia com inibidor de urease (NBPT); (T4) nitrato de amônio. O híbrido utilizado foi o DECALB 230 PRO4, com 75 mil plantas ha^{-1} . A adubação de base foi feita com 400 kg ha^{-1} do formulado 8-20-30, e aplicação em dose única de 160 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura no estágio V5. A recomendação de adubação foi feita para expectativa de produtividade de 12 Mg ha^{-1} . Avaliou-se também as variáveis de fator de emissão, emissão acumulada, emissão de N_2O /rendimento de grãos do milho, o espaço poroso do solo ocupado por água (EPSA), de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) do solo, para cada fertilizante. Durante o experimento a pluviosidade acumulada foi de 706,6 mm e a temperatura média foi de 19,3°C. O EPSA manteve-se na maioria das coletas acima de 60%. Os teores de NH_4^+ e NO_3^- no solo, já na primeira coleta após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados, tiveram a concentração aumentada, dando destaque para o nitrato de amônio com 73,64 mg NH_4^+ kg de solo e 45,05 mg NO_3^- kg de solo. Nas emissões de N_2O foram observados dois picos, um já na primeira coleta após a aplicação das fontes de nitrogênio e o segundo após mais 5 coletas, com destaque para o nitrato de amônio e ureia+NBPT, respectivamente. Os fatores de emissão para os fertilizantes nitrogenados foram de 0,42% para ureia+NBPT, 0,47% para ureia comum e 0,48% para nitrato de amônio, todos abaixo do 1% proposto pelo IPCC (2014). Os valores encontrados são para a cidade de Curitibanos/SC, podendo ser distinto em outros locais de estudo.

Palavras-chave: amônio, EPSA, fator de emissão, nitrato, nitrato de amônio, ureia, ureia+NBPT.

ABSTRACT

Corn is a highly relevant crop in the global agricultural production scenario. The crop is very responsive to soil fertilization, especially nitrogen, which, along with water availability, is a limiting factor for achieving high yields. The present experiment aimed to evaluate the application of nitrogen fertilizers urea, urea+NBPT, and ammonium nitrate to increase crop productivity and mitigate soil nitrous oxide (N₂O) emissions. Emissions were determined through collections using static chambers, between 9:00 and 11:00 a.m., from the fertilizer application until the end of the crop cycle. The experimental design used was a randomized complete block design, with 4 treatments and 4 replications, at the experimental farm of the Federal University of Santa Catarina, Curitibanos/SC campus. The treatments consisted of: (T1) control; (T2) regular urea; (T3) urea with urease inhibitor (NBPT); (T4) ammonium nitrate. The hybrid used was DECALB 230 PRO4, with 75.000 plants ha⁻¹. The base fertilization was done with 400 kg ha⁻¹ of the 8-20-30 formulation, and a single application of 160 kg ha⁻¹ of nitrogen in topdressing at the V5 stage. The fertilizer recommendation was made for an expected yield of 12 Mg ha⁻¹. The variables of emission factor, cumulative emission, N₂O emission/grain yield of corn, soil water-filled pore space (EPSA), ammonium (NH⁴⁺), and nitrate (NO³⁻) content of the soil were also evaluated for each fertilizer. During the experiment, the accumulated rainfall was 706,6 mm, and the average temperature was 19.3°C. EPSA remained above 60% in most collections. NH⁴⁺ and NO³⁻ concentrations in the soil, already in the first collection after the application of nitrogen fertilizers, increased, with ammonium nitrate showing the highest concentrations of 73,64 mg NH⁴⁺ kg of soil and 45,05 mg NO³⁻ kg of soil. Two peaks were observed in N₂O emissions, one in the first collection after the application of nitrogen sources and the second after 5 more collections, with ammonium nitrate and urea+NBPT standing out, respectively. The emission factors for nitrogen fertilizers were 0,42% for urea+NBPT, 0,47% for regular urea, and 0,48% for ammonium nitrate, all below the 1% proposed by IPCC (2014). The values found are for the city of Curitibanos/SC and may vary in other study locations.

Keywords: ammonium, WFPS, emission factor, nitrate, ammonium nitrate, urea, urea+NBPT.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	OBJETIVOS	9
1.1.1	Objetivo Geral	9
1.1.2	Objetivos específicos.....	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	PRODUTIVIDADE E ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO MILHO.....	10
2.2	FERTILIZANTES NITROGENADOS	11
2.3	EMIÇÃO DE N ₂ O VIA NITRIFICAÇÃO E DESNITRIFICAÇÃO	12
2.4	FATORES DE EMISSÃO DE N ₂ O	13
3	MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1	CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DO EXPERIMENTO.....	15
3.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATOS CULTURAIS.....	15
3.3	AMOSTRAGEM DE AR E ANÁLISE DE N ₂ O	16
3.4	CÁLCULO DO FATOR DE EMISSÃO E EMISSÃO DE N ₂ O POR RENDIMENTO	19
3.5	VARIÁVEIS DE SOLO E METEOROLÓGICAS	19
3.6	DETERMINAÇÃO DE N INORGÂNICO	20
3.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1	DADOS CLIMÁTICOS.....	23
4.2	DADOS DE SOLO	24
4.3	FLUXOS DIÁRIOS DE N ₂ O.....	28
4.4	FATORES DE EMISSÃO E EMISSÃO ACUMULADA POR MEGAGRAMA DE GRÃO PRODUZIDO	31
5	CONCLUSÃO.....	34
	REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

O crescimento exponencial da população, principalmente em países em desenvolvimento, faz que seja necessário aumentar a produção de grãos, principalmente em áreas em que já há uso para a agricultura. Com isso, a crescente procura por alimento, fibras e biocombustíveis (OCDE-FAO, 2018) faz com que a cultura do milho (*Zea mays* L.) seja um importante produto agrícola, pois contém um elevado valor nutricional e pode ser utilizado diretamente na alimentação humana, ou servir como alimento para animais, para a produção de carne. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), na safra 2021/22 o Brasil teve uma área plantada de milho de pouco mais de 21 milhões de hectares, tendo uma produtividade média de $5,2 \text{ Mg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$. O rendimento é bem abaixo do potencial de produção, mas os valores são melhores que a safra anterior.

A baixa produtividade média é causada especialmente pelo reduzido aproveitamento do nitrogênio (N) pela cultura do milho. Duete (2008) em seu trabalho, mesmo realizando o parcelamento da dose de aplicação obteve 39% de aproveitamento. Devido a perdas de N do solo pelo manejo dos fertilizantes e do solo, dificilmente o aproveitamento do N pela cultura é acima de 50% (GAVA *et al.*, 2006). Juntamente com a deficiência de N, quando a cultura está no seu período crítico, o déficit hídrico pode ocasionar limitações na produtividade (ARAÚJO; FERREIRA; CRUZ, 2004).

De acordo com Carvalho, Alves e Pereira (2010), para produzir 1 megagrama (Mg) de milho é preciso de 20 a 28 kg ha^{-1} de N. Maiores produtividades podem ser atingidas, já que a espécie conta com grandes investimentos em melhoramento genético, podendo ser possível alcançar produtividades iguais ou superiores a 12 Mg ha^{-1} (EMBRAPA, 2015). Além do elevado potencial de produção, o milho pode ser produzido em quase todos os estados do país, respondendo consideravelmente à aplicação de N. Baseado no trabalho de Carvalho, Alves e Pereira (2010) e considerando o potencial produtivo do milho, é possível estimar uma demanda de 200 a 280 kg N ha^{-1} para produção de 10 Mg ha^{-1} . Isso demonstra a alta demanda da cultura por este nutriente.

Devido à importância citada dos fertilizantes nitrogenados para a cultura, foi observado que o Brasil produziu pouco volume destes fertilizantes, necessitando importar mais de 90% do consumo total nacional (BRASIL, 2021). No ano de 2020, o uso dos fertilizantes nitrogenados ureia e nitrato de amônio foi de cerca de 3.523,9 mil toneladas. Os mais usados no país, em ordem decrescente, são a ureia, o fosfato monoamônico, o sulfato de amônio e o nitrato de amônio (VILLALBA *et al.*, 2014).

O N, quando aplicado no solo, é um nutriente que possui um ciclo bastante dinâmico e pode sofrer perdas significativas. Dos fertilizantes nitrogenados, em média mais de 50% do que é aplicado é perdido (ZAMBIAZI *et al.*, 2014). E uma das formas é pela emissão do óxido nitroso (N₂O), um gás do efeito estufa, 265 vezes mais potente que o dióxido de carbono (CO₂) e a agricultura é responsável por aproximadamente 90% da emissão de N₂O (IPCC, 2014).

As emissões de N₂O na agricultura são influenciadas pelas condições ambientais, bem como as fontes de N utilizadas. A emissão oriunda desta última pode ser analisada pelo fator de emissão (FE), que irá quantificar o N₂O emitido para cada unidade de N adicionado no solo. Para reduzir as emissões dos Gases do Efeito Estufa (GEE) em 6% e aumentar a produtividade das culturas em 28% até o ano de 2030 (OCDE-FAO, 2022), é necessário obter soluções no meio agrícola. Assim, é de suma importância avaliar as emissões N₂O do solo, com isso compreender a melhor fonte de N a ser utilizada em cobertura, que resultem em menor impacto ambiental e maximize a produtividade. Para isso, são importantes análises dos aspectos climáticos e do solo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar diferentes fertilizantes nitrogenados em cobertura visando aumentar a produtividade do milho e quantificar as emissões do N₂O do solo.

1.1.2 Objetivos específicos

Quantificar a emissão de N₂O após a aplicação superficial de ureia, ureia com inibidor de urease e nitrato de amônio.

Avaliar o rendimento de grãos do milho utilizando diferentes fertilizantes nitrogenados.

Determinar os fatores de emissão para ureia, ureia com inibidor de urease e nitrato de amônio.

Estabelecer relações entre as variáveis edafoclimáticas e as emissões de N₂O com o uso de diferentes fertilizantes nitrogenados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E ADUBAÇÃO NITROGENADA NA PRODUTIVIDADE DO MILHO

A produtividade média do milho no Brasil nos últimos 20 anos incrementou de 3,6 para 5,2 Mg ha⁻¹ (CONAB, 2022). No estado de Santa Catarina, a produtividade média aumentou de 4,9 Mg ha⁻¹ para 6,1 Mg ha⁻¹, no mesmo período de tempo. Embora a produtividade média venha aumentando, as médias ainda são bastante baixas quando se considera o potencial produtivo da cultura. Dois fatores são importantes no condicionamento desta baixa produtividade média: alta demanda hídrica e demanda nutricional.

Segundo Carvalho *et al.* (2013), o estresse hídrico na cultura do milho é um fator altamente limitante para a produtividade, principalmente se ocorrer nas fases de polinização e enchimento de grãos, e de acordo com ciclo da variedade, a cultura necessita de 500 a 850 mm de precipitação para o pleno desenvolvimento. Vieira *et al.* (2013) avaliaram três anos de cultivo do milho com e sem irrigação, encontrando que no primeiro ano houve déficit hídrico de 329 mm e no terceiro 207 mm, já no segundo um excesso de 200 mm. No primeiro ano, mesmo com grande déficit hídrico, a produtividade chegou a 40% do obtido no tratamento irrigado, no terceiro ano a redução na produtividade foi mais drástica ainda, chegando apenas a 6% do irrigado. No segundo ano obteve-se resultado de 72% do tratamento irrigado. Devido precipitações nas fases críticas de desenvolvimento da cultura no primeiro ano, mesmo com pouca chuva, a cultura ainda produziu mais que no terceiro ano que também sofreu déficit hídrico. Isso só ressalta a importância da água para o desenvolvimento e produtividade da cultura e também de boa distribuição de chuvas.

A demanda nutricional do milho é alta, especialmente com relação ao nitrogênio, exigido em maior quantidade durante o desenvolvimento do milho. Proporcionalmente, para produzir 1 Mg de milho são necessários 20 a 28 kg ha⁻¹ N (CARVALHO; ALVES; PEREIRA, 2010). O experimento de Besen *et al.* (2020), utilizou a ureia, em doses de 0, 40, 80, 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio e, obtiveram aumento na produtividade partindo de aproximadamente 4,0 Mg ha⁻¹ no tratamento sem a aplicação de N e atingindo 12,0 Mg ha⁻¹ no tratamento com dose máxima de N (120 kg ha⁻¹). Assim, os autores concluíram que a produtividade de grãos é influenciada pelo nitrogênio e a dose máxima é economicamente a mais viável.

2.2 FERTILIZANTES NITROGENADOS

Os fertilizantes nitrogenados são produzidos a partir do processo Haber-Bosch, processo que então irá formar inicialmente amônia, através de uma reação química (REETZ, 2016). A amônia serve de matéria prima para a fabricação de quase todos os fertilizantes nitrogenados, como ureia e nitrato de amônio, por exemplo. No Brasil, o consumo desses fertilizantes nitrogenados foi de 2.981,5 e 542,4 mil toneladas, respectivamente, no ano de 2020 (IFA, 2020).

Atualmente, a ureia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) é o fertilizante nitrogenado mais utilizado em todo mundo, pois possui 45-46% de N em sua concentração, que propicia um menor volume de produto para o manuseio, além da característica de ser altamente solúvel em água. Ela é produzida a partir de uma reação do gás amônia com dióxido de carbono, que necessitam ser colocados em alta pressão e temperatura (REETZ, 2016). Ao realizar a aplicação da ureia em solo úmido, a água irá rapidamente dissolver o grânulo deste fertilizante e ocorrerá a ação da enzima urease presente no solo, que irá hidrolisar a ureia (VIEIRA, 2017). A hidrólise da ureia forma carbonato de amônio ($\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, sendo este instável e logo convertido em amônio, bicarbonato e hidroxila ($2\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- + \text{HCO}_3^-$, respectivamente), e a formação de nitrato (NO_3^-) pode levar vários dias (MOLIN, 2016).

Para minimizar perdas de N pode-se utilizar inibidores de urease, como o N-(n-butil) tiofórico triamida – NBPT, que é ligeiramente convertido em fosfato de N-n-butil triamida – NBPTO quando aplicado sob o solo e este irá inibir mais eficientemente a ação da enzima urease (SOARES, 2011), retardando o aparecimento de amônio (NH_4^+) e NO_3^- . O inibidor é muito importante para uso no sistema de plantio direto, pois atrasa a hidrólise da ureia, fazendo com que a água oriunda da chuva ou da irrigação se difunda no perfil do solo, não evidenciando pH elevado e altas concentrações de NH_4^+ na superfície do solo, reduzindo as perdas de N. Embora o custo deste fertilizante possa ser levemente superior à ureia comum, a redução nas perdas podem significar muitas vezes maior disponibilidade de N no solo para as culturas. De acordo com Soares (2011), os inibidores de urease possibilitam que as culturas aproveitem o N da ureia em maior quantidade e conseqüentemente a produtividade se eleva.

O nitrato de amônio (NH_4NO_3) é outro fertilizante nitrogenado utilizado em grande escala no Brasil, mas contém apenas 34% de N. Segundo Reetz (2016), o NH_4NO_3 é prontamente solúvel, pois aproximadamente 50% da concentração de nitrogênio é na forma de amônio e os outros 50% nitrato, que são as formas que as raízes das plantas absorvem.

As menores perdas do N após a fertilização podem significar maior produtividade no milho. Kappes, Zancanaro e Jesus (2013) ao aplicarem 120 kg de N ha⁻¹ na forma de nitrato de amônio, observaram que a produtividade da cultura do milho foi 724 kg ha⁻¹ maior do que quando comparado com a ureia. Porém, de acordo com Lourenço *et al.*, (2013), o fertilizante aplicado no solo na forma de NO₃⁻ pode ser perdido por lixiviação, de forma antecipada e em maiores quantidades que a ureia, já que não necessita reagir e se transformar em NO₃⁻. Simpicio *et al.*, (2020) citam que devido ao fato de ser um fertilizante bastante solúvel em água, assim como a ureia, ele é bastante procurado para uso na agricultura.

2.3 EMISSÃO DE N₂O VIA NITRIFICAÇÃO E DESNITRIFICAÇÃO

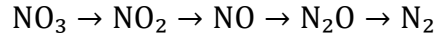
A utilização de fertilizantes nitrogenados em sistemas de produção pode favorecer a emissão de óxido nitroso (N₂O). O N₂O é um gás de efeito estufa com poder de aquecimento global 265 vezes maior que o CO₂ (IPCC, 2014). As atividades agrícolas são responsáveis por mais de 87% do total das emissões mundiais de N₂O, devido principalmente a utilização de fertilizantes nitrogenados nas culturas agrícolas (ALMEIDA *et al.*, 2015).

O N₂O é produzido nos solos principalmente através de dois processos biológicos, a nitrificação e desnitrificação (BORTOLI *et al.*, 2012). Por tratar-se de processos biológicos, a nitrificação e desnitrificação são fortemente influenciados por variáveis edafoclimáticas, como presença de O₂, de água, características físicas do solo e diferentes fertilizantes nitrogenados. Logo, a emissão de N₂O é variável em função do local, sistema de cultivo e das fontes nitrogenadas que são utilizadas como fertilizante.

O processo de nitrificação acontece por meio de oxidação aeróbica, ou seja, necessita de oxigênio no solo para ocorrer. Este processo consiste no amônio (NH₄⁺) sendo oxidado até nitrito (NO₂⁻) e posteriormente a NO₃⁻ por bactérias quimiautotróficas, onde o doador de elétrons é o NH₄⁺ e o O₂ o receptor. Para o NH₄⁺ ser transformado até NO₃⁻, agem as bactérias oxidadoras de amônia e as oxidadoras de nitrito, a primeira etapa é a transformação de NH₄⁺ à NO₂⁻ e a segunda é transformação de NO₂⁻ à NO₃⁻ (BORTOLI *et al.*, 2012). Contudo, enzimas presentes na região da parede celular das bactérias, fazem com que o NO₂⁻ produzido sofra a ação da enzima nitrito redutase, sendo convertido a NO, com isso a oxido nitrito redutase, reduz o NO a N₂O podendo desta forma ser emitido (BORTOLI *et al.*, 2012).

A desnitrificação é o processo que consiste na redução de NO₃⁻ até N₂, que volta para a atmosfera. O processo ocorre quando o espaço poroso de solo se encontra com baixa concentração de O₂ e é favorecido na presença de carbono lábil (ALMEIDA *et al.*, 2015). Então,

com o preenchimento dos poros do solo pela água e solos com altos teores de matéria orgânica pode haver o aumento desse processo de desnitrificação. O processo de desnitrificação pode ser ilustrado resumidamente da seguinte forma:



O N_2O pode ser produzido e perdido logo após a chuva porque a enzima que reduz NO à N_2O é mais sensível ao oxigênio que as demais que agem nesse processo. Assim, em um ambiente anóxico elas trabalham mais intensamente. E se, as enzimas entrarem em contato com O_2 , elas são inibidas. O N_2O também pode ser produzido em altas concentrações de NO_3^- , já que este é preferível como receptor de elétrons se comparado com N_2O (VIEIRA, 2017).

A temperatura também é um importante fator que irá afetar a emissão de N_2O , já que ela pode instigar a evaporação da água do solo, modificando a composição do espaço poroso (VIEIRA, 2017). O pH também é um controlador da desnitrificação, já que as enzimas envolvidas nesse processo são bastante sensíveis à acidez do solo, podendo esse fator causar maior emissão de N_2O , devido a enzima que reduz ele a N_2 perder eficiência.

A fonte de fertilizante nitrogenado também pode influenciar nas emissões de N_2O (LIMA, 2013). Fracetto *et al.* (2011) observaram maiores emissões de N_2O quando utilizaram nitrato de amônio e a ureia $((\text{NH}_2)_2\text{CO})$ como fonte de N para a cultura do milho quando comparado à ureia com inibidor de urease. De acordo com os autores, os fertilizantes nitrato de amônio e ureia fornecem o substrato mais rapidamente para a produção do N_2O , ocasionando maiores concentrações do gás no local da aplicação.

Carvalho *et al.* (2008), em seu trabalho comparando os fertilizantes nitrato de amônio e ureia nas emissões de N_2O , obtiveram que o nitrato de amônio resultou em fluxos iniciais de emissão mais elevados, porém, ao final do experimento foi a ureia que atingiu um fluxo de emissão mais elevado. Com relação ao solo, em um trabalho de Bateman e Baggs (2005), avaliando o espaço poroso saturado por água (EPSA) em 20, 35, 50, 60 e 70% notou que o processo de nitrificação autotrófica foi maior que o processo de desnitrificação até o EPSA de 60% e com 70% do EPSA favoreceu somente o processo de desnitrificação.

2.4 FATORES DE EMISSÃO DE N_2O

O fator de emissão é uma forma de quantificar o N_2O emitido por cada unidade de N adicionado no solo. A principal fonte de emissão de N_2O dos solos são os fertilizantes nitrogenados, assim, o aumento de N do solo pode ocorrer de forma antrópica (OLIVEIRA, 2009). Os fatores que interferem de forma significativa na emissão são: a temperatura e

umidade, a presença de oxigênio no solo, disponibilidade de carbono (C) e a disponibilidade de N na forma de NH_4^+ e NO_3^- . Quando temos maior disponibilidade destes fatores temos as condições mais propensas a emissão de N_2O do solo, podendo estes fatores serem afetados por condições naturais e pela aplicação de fertilizantes nitrogenados (LOPES *et al.* 2017).

Quando é realizada a aplicação da ureia e/ou nitrato de amônio, o fator de emissão padrão estimado pelo IPCC é de 1%, todavia pode variar bastante de acordo com as características do clima e solo do local avaliado (PILECCO, 2013). Contudo, os valores de emissão podem variar, comprovado por Oliveira (2009) que ao aplicar 50, 100 e 150 kg N ha^{-1} obteve resultados de 0,26, 0,59 e 0,64%, respectivamente. Carvalho *et al.* (2020) utilizaram nitrato de amônio e tiveram fator de emissão de 0,33%, inferior também ao valor padrão. Os resultados obtidos, certamente sofreram influência da dose aplicada, mas também da boa aeração do solo, já que esses solos apresentam características de maior drenagem da água, oriunda de precipitações, reduzindo a desnitrificação devido menor tempo dos poros do solo saturados. Lima (2013) analisou os fertilizantes nitrato de amônio, ureia e ureia+NBPT e obteve fator de emissão de N_2O de 2% para os dois primeiros e para o último fator de emissão de 1%. Alves *et al.* (2010), realizou a aplicação da dose de 160 kg ha^{-1} N e encontrou fator de emissão de 0,37%, próximo ao de Morais *et al.* (2011) que obteve fator de emissão de 0,33% com o fornecimento de 150 kg ha^{-1} N através da ureia, ambos os resultados inferiores à 1% proposto pelo IPCC (2014).

Devido à falta de informações sobre as emissões de N_2O na região, os resultados são importantes para a elaboração de inventários nacionais sobre emissões de GEE.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DO EXPERIMENTO

O trabalho foi realizado na Área Experimental Agropecuária da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus de Curitibanos entre os meses de novembro de 2022 e abril de 2023. O solo da área experimental está classificado como Cambissolo Húmico com textura argilosa. A caracterização químico-física do solo é apresentada na Tabela 1. Köppen classifica que o clima da região é do tipo Cfb mesotérmico úmido e com verão ameno, onde se tem temperatura média anual de 16-17°C e precipitação média anual de 1.500-1.700 mm bem distribuídas durante o ano (SDR, 2003).

Tabela 1 – Análise dos atributos químicos e físicos do solo, amostrado na Área Experimental Agropecuária na camada de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm, Curitibanos – 2022.

Camada	Argila %	pH H ₂ O	SMP	P mg dm ³	K mg dm ³	Ca cmol _c dm ³	Mg cmol _c dm ³	CTC _{pH7}	M.O. %	V	Al
0-10 cm	55	6,7	6,2	24,1	111,1	12,0	4,5	20,3	4,0	83	0,0
10-20 cm	53	7,3	6,7	16,6	52,7	12,1	4,7	18,8	1,9	90	0,0

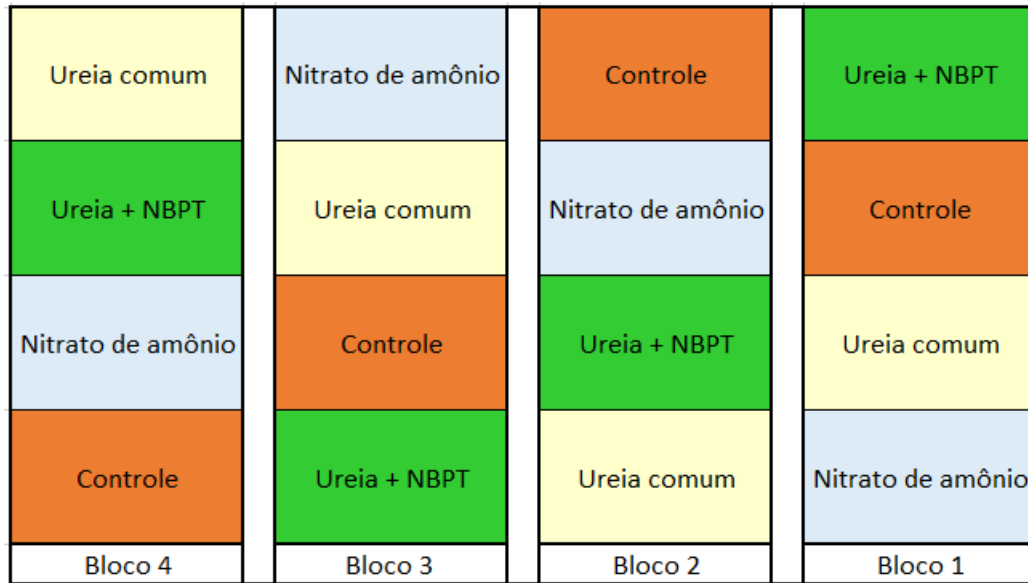
Legenda: P- fósforo; K- potássio; M.O.- matéria orgânica; Ca- cálcio; Mg- magnésio.

Fonte: Autor, 2023.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATOS CULTURAIS

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com 4 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos foram dispostos aleatoriamente conforme exemplificado na Figura 1, onde cada parcela apresentava área de 10 x 5 metros (50 m²).

Figura 1 – Croqui ilustrativo da área do experimento.



Fonte: Autor, 2023.

Os tratamentos consistiram de diferentes fontes nitrogenadas, onde: (T1) testemunha, sem adubação de cobertura com nitrogênio; (T2) ureia comum; (T3) ureia com inibidor de urease (NBPT); (T4) nitrato de amônio (YaraBela). O milho híbrido utilizado foi o DEKALB 230 PRO4 de ciclo hiperprecoce, cultivado com densidade populacional de 75 mil plantas ha^{-1} e espaçamento entre linhas de 0,4 m. A adubação de base em todos os tratamentos foi feita com 400 kg ha^{-1} do adubo 8-20-30. A adubação de cobertura realizada em dose única, foi de 160 kg N ha^{-1} , no estágio V5 da cultura, 35 dias após a semeadura do milho. As adubações foram feitas para expectativa de rendimento de 12 Mg ha^{-1} .

A cultura do milho foi cultivada sob sistema plantio direto, tendo como cultura antecessora a aveia branca. Para o manejo de dessecação da área, utilizou-se o herbicida glifosato. Para o controle de plantas daninhas em pós-semeadura, os herbicidas utilizados foram glifosato + basagran em dose indicada abaixo. No controle dos insetos, foram realizadas aplicações dos inseticidas sperto e connect, com início no estágio V1 da cultura e prosseguindo com aplicações semanais, intercalando os produtos comerciais. Na análise de produtividade determinou-se uma área de 13,5 m^2 em cada parcela. E para os cálculos, a umidade dos grãos de milho foi corrigida para 13%.

3.3 AMOSTRAGEM DE AR E ANÁLISE DE N_2O

Para medir as emissões de N_2O utilizou-se o método da câmara estática (BAYER *et al.*, 2016; MOSIER, 1989) (Figura 2). Foram feitas 22 amostragens durante o ciclo do milho,

uma anterior a aplicação do N em cobertura. As amostragens foram feitas 2, 4, 6, 8, 10, 13, 15, 17, 20, 23, 27, 30, 36, 43, 50, 56, 63, 74, 79, 88 e 97 dias após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados, encerrando no momento da colheita do milho. As coletas foram realizadas no horário das 9:00 às 11:00h, momento em que o fluxo de N_2O é considerado equivalente ao fluxo médio diário mundial (BAYER *et al.*, 2016; de KLEIN; HARVEY, 2015).

Figura 2 – Câmara para coleta de N_2O , contendo termômetro, bateria e seringa.



Fonte: Autor, 2023.

Uma base metálica de 0,25 m de diâmetro foi inserida a 0,05 m de profundidade no solo em cada parcela (Figura 3), a qual permaneceu durante todo ciclo do milho. Para realizar a amostragem, utilizou-se câmaras de 0,40 m de altura e 0,30 m de diâmetro, as quais contêm um sistema de monitoramento de temperatura interna e um ventilador a bateria acoplado à câmara (Figura 2). As coletas de amostras de ar foram feitas com seringas de 20 mL, nos momentos de 0, 15, 30 e 45 minutos após o fechamento de cada câmara. Como forma de homogeneização da atmosfera interna da câmara, o sistema de ventilação foi acionado 30 segundos antes dos tempos de amostragem de 15, 30 e 45 minutos. Após a coleta, as amostras de ar retiradas foram dispostas em frascos de vidro de 12 mL previamente evacuados e encaminhados para o Laboratório de Biogeoquímica da UFRGS para análise.

Figura 3 – Base para a câmara de coleta da emissão de N₂O



Fonte: Autor, 2023.

A análise de N₂O foi feita por meio de um cromatógrafo gasoso Shimadzu Greenhouse (GC-2014), que é equipado com um detector de captura de elétrons (DCE) que trabalha a 325°C, e uma coluna porapak-Q a 80°C, 25 ml min⁻¹ de N₂ que serve como gás de arraste e mistura P-5 (5% CH₄ em argônio) que serve de gás de compensação. A amostra injetada tinha 1 ml. Para calibrar o cromatógrafo foram usados quatro padrões que contituem a concentração de N₂O de 210-2109 ppb. O procedimento da análise é avaliado em relação às referências de gás certificadas.

Já os fluxos de N-N₂O para o ciclo do milho podem calculados a partir da equação:

$$f = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \frac{PV}{RT} \frac{M}{A}$$

Onde: f (μg m⁻²h⁻¹) corresponde ao fluxo de N₂O; $\Delta Q/\Delta t$ é a mudança na concentração de N₂O (regressão linear entre os quatro tempos de amostragem); já P corresponde a pressão dentro da câmara (1 atm); V (L) é o volume da câmara; R é a constante universal do gás (0,08205 atm L mol⁻¹ K⁻¹); T(K) é a temperatura dentro da câmara; M (g mol⁻¹) é a massa molar do gás; e A (m²) é a base da câmara.

Os fluxos foram representados em relação ao N-N₂O e às emissões sazonais calculadas com a integração trapezoidal dos fluxos diários de N-N₂O para o ciclo do milho, tendo como o fluxo gasoso das 09:00 às 11:00h correspondente ao fluxo médio diário (BAYER *et al.*, 2016).

3.4 CÁLCULO DO FATOR DE EMISSÃO E EMISSÃO DE N₂O POR RENDIMENTO

O Fator de Emissão (FE) de N-N₂O foi calculado de acordo com a equação:

$$FE = \frac{\text{Tratamento } N_2O - \text{Controle } N_2O}{N \text{ aplicado}}$$

Onde: O FE é expresso com porcentagem da quantidade aplicada de N (kg N-N₂O/100 kg de N aplicado); Tratamento N₂O expressa as emissões cumulativas de N-N₂O do tratamento com fertilizante nitrogenado; Controle N₂O são as emissões cumulativas de N-N₂O da parcela sem fertilizante; e N aplicado é a dose de adubação utilizada (kg⁻¹ ha⁻¹).

Tratando-se das emissões de N-N₂O em escala de rendimento foram calculadas como as razões das emissões sazonais de N-N₂O e o rendimento de grãos das culturas (KIM e GILTRAP, 2017):

$$\text{Rendimento escalonado } N_2O = \frac{\text{emissão cumulativa de } N_2O}{\text{Rendimento de grãos}}$$

Onde: emissão/colheita de N₂O corresponde as emissões cumulativas para o ciclo do milho (kg⁻¹ N-N₂O ha⁻¹); e rendimento de grão do milho. Os valores de N₂O em escala de rendimento são expressos em kg de N-N₂O emitido por Mg de grãos.

3.5 VARIÁVEIS DE SOLO E METEOROLÓGICAS

Os dados meteorológicos durante o período de experimento foram obtidos da estação meteorológica da UFSC, Campus Curitibanos-SC. A estação meteorológica encontra-se ao lado da área do experimento.

A temperatura e a umidade do solo foram analisadas em cada amostragem do ar, com um termômetro de solo e coletas de solo. O espaço poroso saturado por água do solo durante a amostragem foi estimado pela densidade média do solo da área experimental, o teor de umidade do solo e a densidade de partícula de 2,65 Mg m⁻³, de acordo com a equação abaixo.

$$EPSA = \left[\frac{(U \times da)}{1 - (da \div dp)} \right]$$

Sendo, EPSA o espaço poroso ocupado por água (%); U a umidade gravimétrica do solo (g g^{-1}); ρ_a a densidade aparente do solo (g cm^{-3}); e ρ_p a densidade de partículas do solo (g cm^{-3}).

Em todos os eventos de amostragem de ar, 2 subamostras de solo da camada 0-10 cm foram coletadas de cada parcela. Após colocadas em uma embalagem plástica bem vedada, as amostras seguiam para o laboratório. Utilizou-se as amostras para determinar os teores de umidade e os teores de amônio e nitrato do solo. A extração para determinação de NH_4^+ e NO_3^- foi feita utilizando 20g de solo com 100 ml de KCl (2 mol L^{-1}) e agitando por 60 minutos com 250 rotações min^{-1} , por fim, 30 minutos para a decantação e coleta do sobrenadante (Figura 4). A análise então foi feita seguindo o procedimento descrito por Keeney e Nelson (1982), levando em consideração os resultados obtidos em solo seco.

Figura 4 – Amostras em processo de decantação, para posterior determinação de amônio e nitrato do solo.



Fonte: Autor, 2023

3.6 DETERMINAÇÃO DE N INORGÂNICO

Para a análise de N-mineral utilizou-se o método Keeney e Nelson (1982), realizado em 3 etapas. A primeira é a extração do NH_4^+ e do NO_3^- do solo. Na segunda etapa é realizado o processo de destilação, utilizando um destilador Kjeldahl que trabalha com o arraste do vapor, e a terceira etapa compreende o processo de titulação do que foi coletado na segunda etapa.

Para a realização da destilação foram utilizados 20 mL de alíquota da amostra, que foram adicionados a um tubo de ensaio juntamente com 0,2 g de óxido de magnésio. Rapidamente este tubo de ensaio era encaixado no destilador Kjeldahl, aguardando até completar aproximadamente 40 mLs em um Erlenmeyer que continha solução de ácido bórico 1% (10 mL), para então, análise de NH_4^+ . Processo idêntico era realizado com a adição de liga de devarda para análise de NO_3^- .

Posterior à destilação, as amostras foram tituladas para a determinação de NH_4^+ e NO_3^- . Para a realização da titulação, foi utilizado de um titulador automático com uma solução de ácido sulfúrico ($0,0025 \text{ mol L}^{-1}$). Por fim, foi realizado o cálculo o teor de nitrogênio no solo, de acordo com a equação abaixo.

$$N - \text{NH}_4 \text{ ou } N - \text{NO}_3 = \left[\frac{(V_{ac} - V_{br}) \times 14,007 \times N_{ac} \times f_c}{V_{al}} \right] \times \left[\frac{(V_t + V_{aa})}{P_s \times 10^{-3}} \right]$$

Em que:

N- NH_4^+ = concentração de NH_4^+ no solo (mg kg^{-1});

N- NO_3^- = concentração de NO_3^- no solo (mg kg^{-1});

V_{ac} = volume de ácido sulfúrico gasto na titulação da amostra (mL);

V_{br} = volume do ácido sulfúrico gasto na titulação do branco de análise (mL);

N_{ac} = normalidade do ácido sulfúrico utilizado (Molaridade x 2);

f_c = fator de correção da concentração do ácido sulfúrico;

V_{al} = volume da alíquota usada na destilação (mL);

V_t = volume total de extrato utilizado no processo de extração (mL);

V_{aa} = volume de água pré-existente na amostra de solo (mL);

P_s = massa de solo seco (g).

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados de solo, emissão cumulativa de N_2O , FE- N_2O , emissão de N_2O em escala de rendimento e rendimento de grãos de milho foram submetidos à análise de variância. Quando

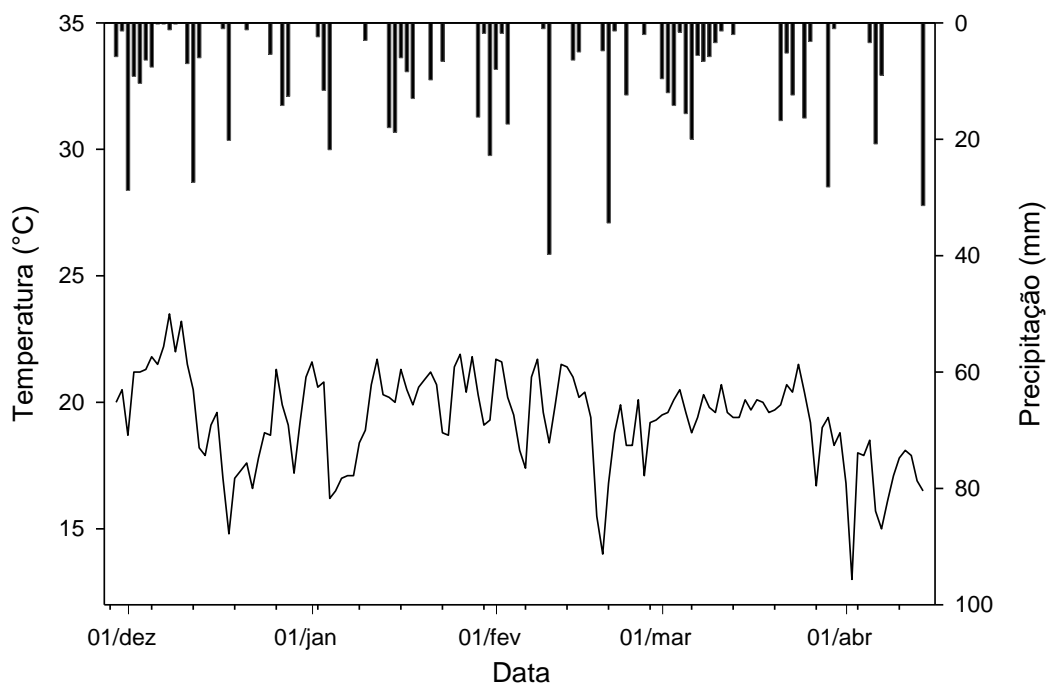
significativas, as médias dos tratamentos foram comparadas entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%, utilizando o software Sisvar.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DADOS CLIMÁTICOS

Durante o período do experimento, as condições climáticas do local do experimento se mantiveram dentro da média histórica para a região. A temperatura média, durante o ciclo da cultura do milho foi de 19,3 °C e, com precipitação acumulada de 706,6 mm, bem distribuída durante os meses de cultivo (Figura 5). A temperatura média durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, ficou dentro da média histórica para a região (19,4°C) (WREGE, 2012).

Figura 5 – Temperatura média e precipitação diária no período de novembro de 2022 a abril de 2023 na cidade de Curitiba-SC.



Fonte: Autor, 2023.

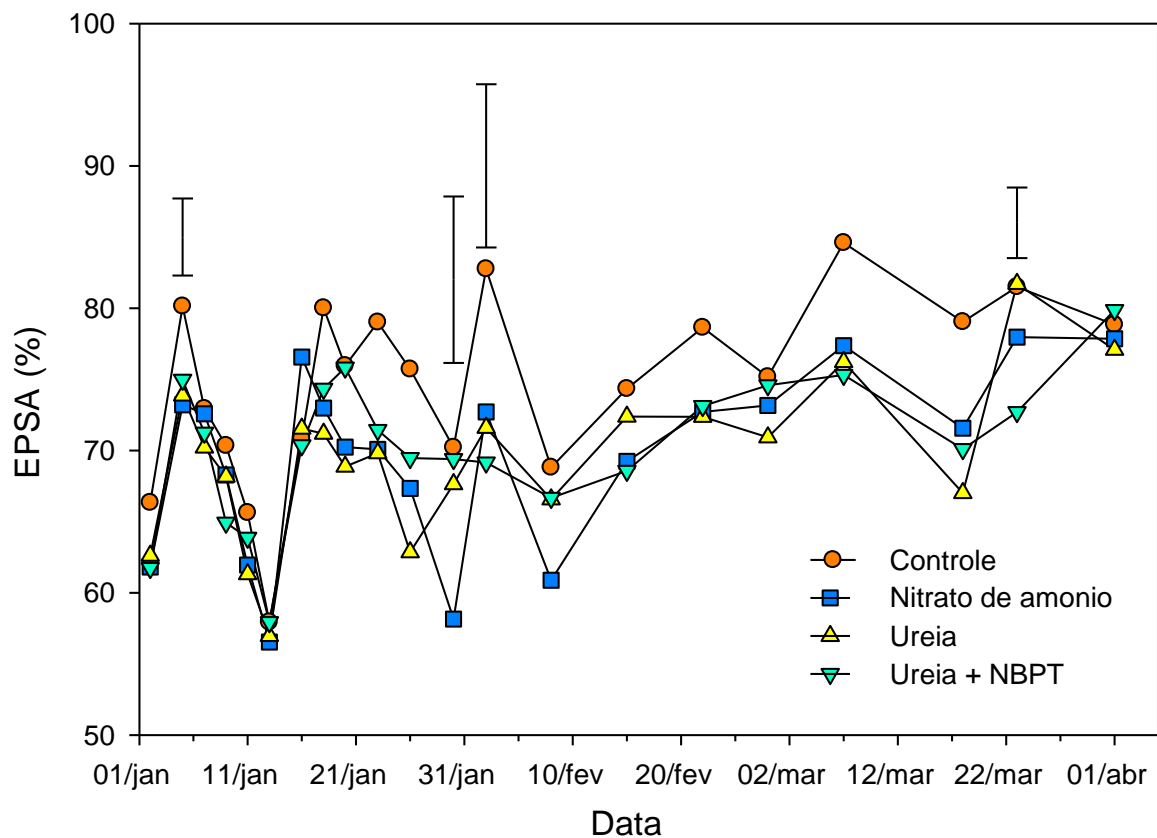
Comparando com os dados históricos apresentados em Wrege *et al.*, (2012), a precipitação acumulada no mês de dezembro foi de 159,2 mm, superior à média histórica que é de 111,7 mm, para o mês de janeiro/2023 onde houve 160,2 mm de precipitação ficando próxima da média histórica que é de 168,5 mm. Em fevereiro/2023, houve 134,4 mm de chuva, um pouco abaixo da média histórica que foi de 179,2 mm. Em março/2023, as chuvas foram bem mais expressivas, 181,0 mm acumulados, bastante acima da média histórica para o mês,

98,4 mm. A precipitação acumulada do período (706,6 mm) ficou dentro da média histórica, que é de 684,3 mm. Desta forma, a disponibilidade hídrica não representou um fator limitante para o pleno desenvolvimento da cultura.

4.2 DADOS DE SOLO

O espaço poroso ocupado por água (EPSA) ao longo do experimento diferiu estatisticamente entre os tratamentos nos dias 05/01, 30/01, 02/02 e 23/03, de 2023 (Figura 6). As demais datas não tiveram diferenças significativas a nível de 5% pelo teste Tukey.

Figura 6 – Espaço poroso saturado por água (EPSA) com fontes distintas de fertilizantes nitrogenados. Na cultura do milho em 2022/23



Fonte: Autor, 2023.

Os menores valores de EPSA foram observados no dia 13/01, com 52,04, 50,79, 51,17 e 52,04%, para os tratamentos controle, nitrato de amônio, ureia comum e ureia+NBPT, respectivamente (Figura 6). Os valores mais altos de EPSA foram observados nos dias 07/03,

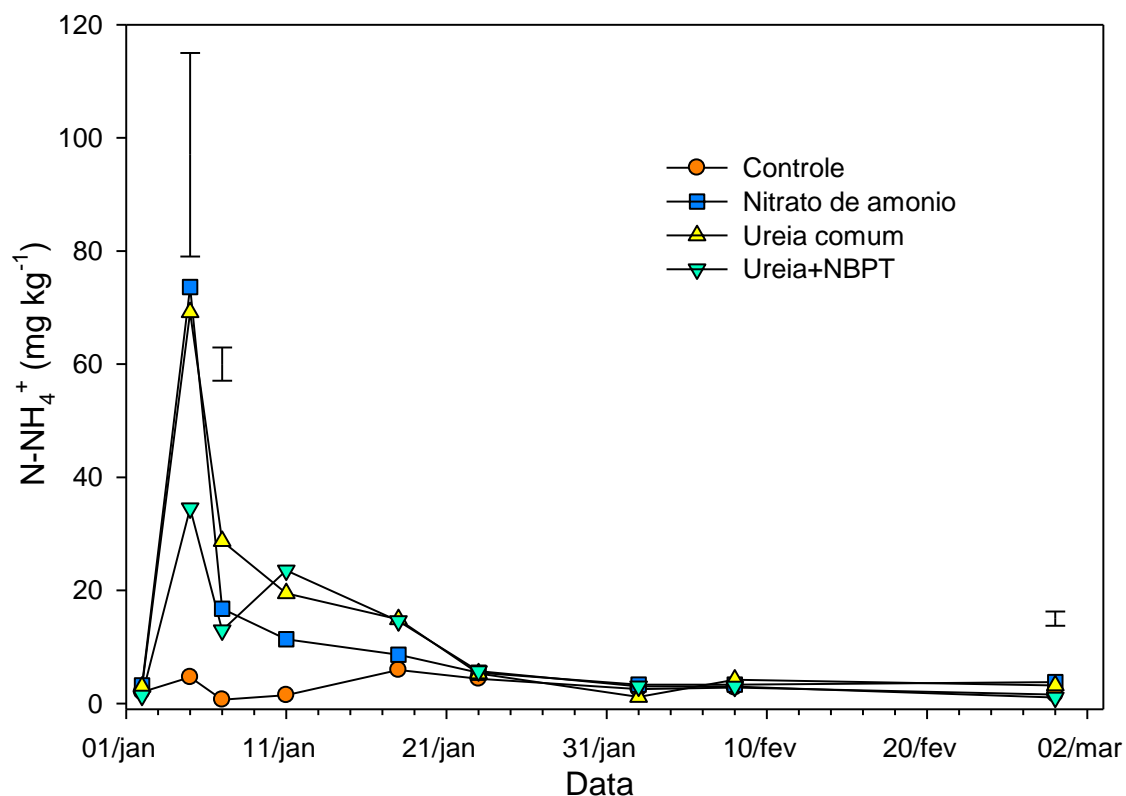
23/03 (em dois tratamentos) e 01/04, com 75,99, 70,04, 73,39 e 71,74%, para controle, nitrato de amônio, ureia comum e ureia+NBPT, respectivamente.

Os valores de EPSA encontrados coincidiram com as precipitações ocorridas, já que a menor porcentagem foi obtida quando há 8 dias não houveram chuvas. Da mesma forma, os maiores valores de EPSA foram observados no mês de março/2023, quando ocorreram chuvas acima da média histórica para o mês. Mesmos resultados foram obtidos por Moraes (2011), onde, chuvas naturais foram determinantes para que o EPSA ultrapassasse valores de 60%. Contudo, obteve maiores variações do EPSA, devido as características de clima serem distintas, bem como o período do ano avaliado. Alves (2017) também pontuou que após períodos com maiores volumes de chuvas, o EPSA aumentou significativamente.

É possível notar também que, em quase a totalidade das coletas de umidade do solo (Figura 6), o tratamento controle, sem aplicação de N, manteve valores de EPSA acima dos demais. Nestas parcelas isso pode ter ocorrido porque foi observado plantas menos desenvolvidas, resultando em uma menor evapotranspiração da planta e consumo de água do solo.

Os teores de NH_4^+ no solo aumentaram logo após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados (Figura 7). Os teores de NH_4^+ foram maiores nos tratamentos com fertilizante nitrato de amônio e ureia comum do que nos tratamentos controle e ureia+NBPT. Isso se deve ao fato de que quando é aplicado um fertilizante como o nitrato de amônio já fornecemos o NH_4^+ disponível no solo sem que precise passar por transformações, enquanto que a ureia deve ser primeiramente hidrolisada e sofrer ação da enzima urease, presente no solo, fazendo com que se disponibilize NH_4^+ no solo (Figura 7). A ureia+NBPT apresentou menor teor de NH_4^+ no solo justamente porque a hidrólise da molécula da ureia é retardada devido à ação do inibidor.

Figura 7 – Teores de amônio ($\text{mg N-NH}_4^+ \text{ kg solo}^{-1}$) no solo durante o experimento.



Fonte: Autor, 2023.

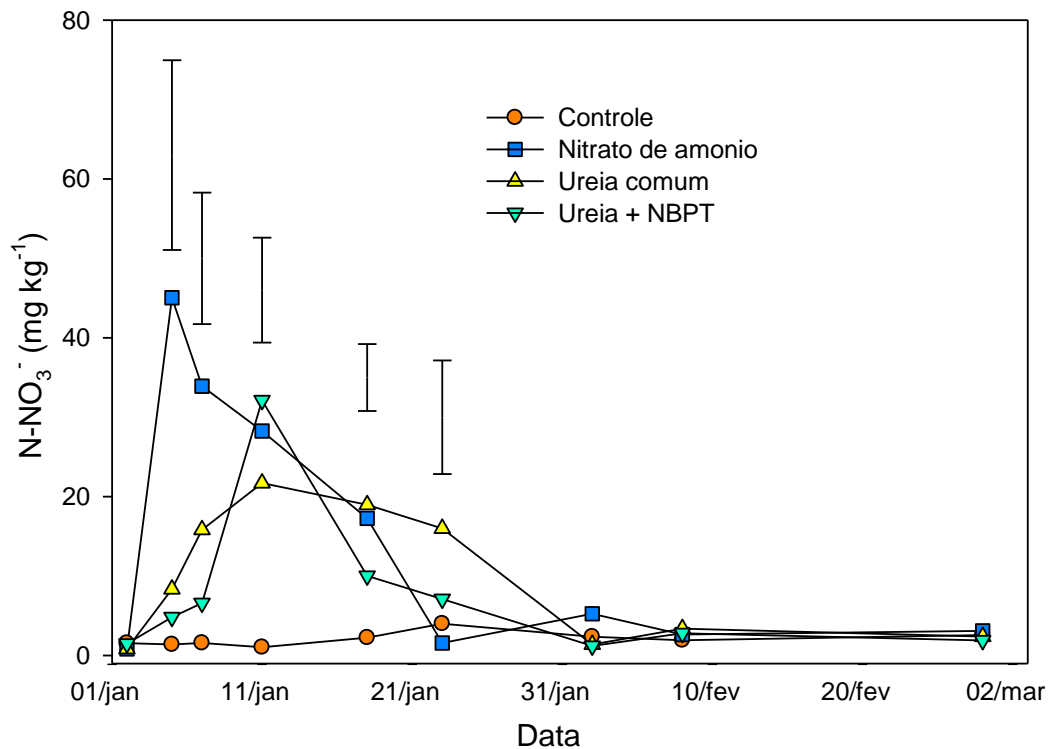
Na segunda coleta de solo após a aplicação dos fertilizantes (07/01/23), o tratamento com ureia comum apresentou maior teor de NH_4^+ no solo quando comparado aos demais tratamentos. Esse resultado valida a afirmação anterior de que existe um pequeno atraso na formação de NH_4^+ no solo devido ação da enzima urease. No dia 11/01/23 foi possível observar um pequeno aumento de NH_4^+ no solo no tratamento ureia+NBPT, provavelmente devido à redução da ação do inibidor da enzima urease (Figura 7). Após 20 dias da aplicação dos fertilizantes, os teores de NH_4^+ tiveram redução gradual até estabilizar e acompanhar os mesmos valores do tratamento controle (Figura 7).

O aumento nos teores de NH_4 no solo logo após a aplicação de fertilizantes nitrogenados também foi observado por Oliveira *et al.* (2014). Contudo, a autora observou valores menores da concentração encontrada neste estudo, que se explica pela menor quantidade de fertilizante nitrogenado em cobertura (30 kg N ha^{-1}), quase 5 vezes menos que neste. Os fertilizantes nitrogenados, em sua maioria, liberam rapidamente NH_4^+ para o solo

(CANTARELLA; MARCELINO, 2008), favorecendo assim, o rápido aumento na concentração de NH_4^+ inicial no solo e em consequência a planta absorve o nutriente (MORO *et al.*, 2015). É importante destacar que um dos fatores que condicionaram o aumento rápido dos teores de NH_4^+ foi a ocorrência de chuva logo após a aplicação dos fertilizantes, já que a presença de água é fundamental para hidrólise da ureia. A manutenção do N no solo na forma de NH_4^+ é benéfica pois o cátion pode ser retido temporariamente na CTC do solo. Contudo, existe uma tendência do NH_4^+ em ser nitrificado, e ao se transformar em NO_3^- o N pode ser perdido por lixiviação e/ou desnitrificação, antes que a planta o absorva.

Os teores de NO_3^- do solo também aumentaram logo após a aplicação dos fertilizantes (Figura 8). Nos dias 05/01 e 07/01/23, primeiro e segundo dia de coleta após a aplicação dos fertilizantes, o tratamento nitrato de amônio apresentou a maior concentração de NO_3^- no solo (45,05 e 33,92 mg N- NO_3^- kg solo⁻¹), quando comparado com os demais tratamentos. Isso se deve, ao fornecimento de uma fonte em que o nitrato já está prontamente disponível quando aplicado no solo. Posteriormente, ocorreu um aumento na concentração de NO_3^- no solo nas parcelas com ureia comum e ureia+NBPT (21,71 e 32,13 mg NO_3^- kg solo⁻¹), acompanhando o nitrato de amônio (28,26 mg NO_3^- kg solo⁻¹). Nestes tratamentos, o incremento de NO_3^- no solo ocorreu somente alguns dias depois porque as bactérias responsáveis pelo processo de nitrificação precisam oxidar o amônio à nitrato. Após 30 dias da aplicação das fontes de N, há um declínio nas concentrações de NO_3^- no solo, chegando aos mesmos valores observados anterior a aplicação do N em cobertura, em todas as parcelas. Assim como para Moro (2012), que em seu trabalho observou aumento nos teores de N mineral do solo logo após a aplicação de ureia e depois de 55 dias ocorreu um declínio para os mesmos teores vistos anteriormente à aplicação do N. Zanatta (2009), avaliando diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados, observou aumento nos teores de NO_3^- logo após a aplicação e após aproximadamente 9 dias os teores voltaram aos mesmos valores anteriores à aplicação.

Figura 8 – Teores de nitrato ($\text{mg N-NO}_3^- \text{ kg solo}^{-1}$) no solo durante o experimento.



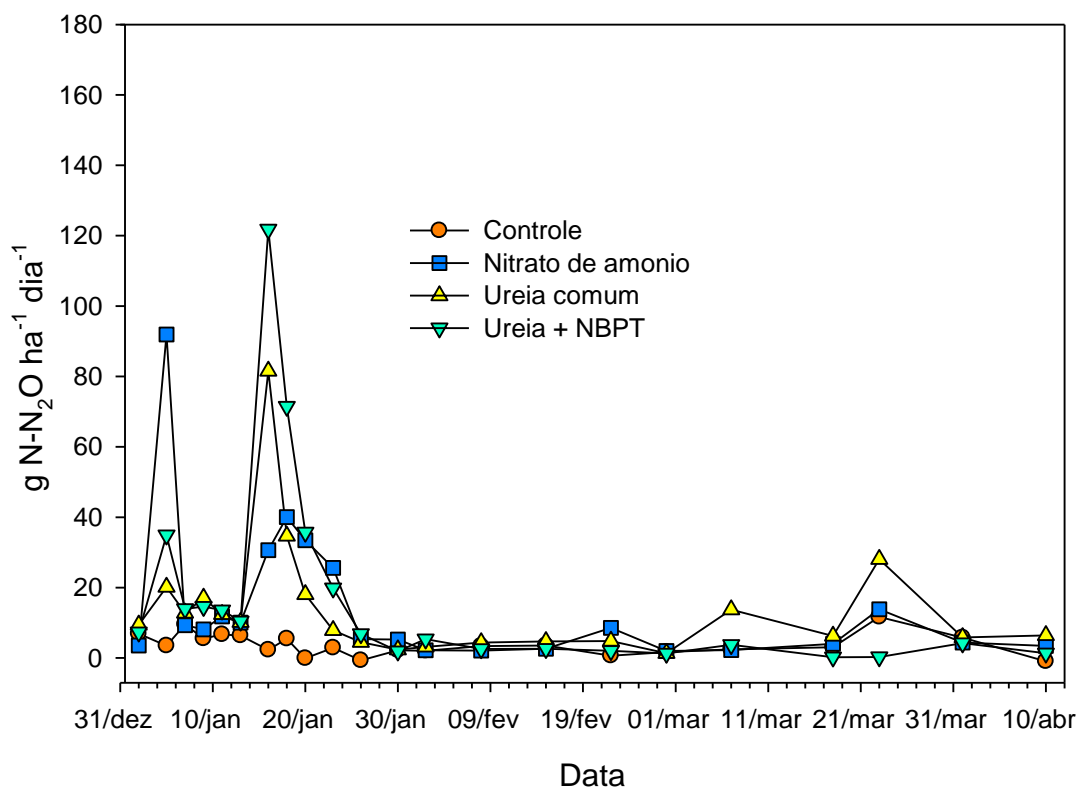
Fonte: Autor, 2023.

4.3 FLUXOS DIÁRIOS DE N_2O

Os fluxos de N_2O foram monitorados durante toda a safra de milho (Figura 9). A primeira coleta de N_2O , antecedendo a aplicação do N, indicou níveis basais de emissão. Após a aplicação das três fontes de N, logo na coleta seguinte, pode-se notar que ocorreu um pico nos fluxos de N_2O , com destaque para o nitrato de amônio que atingiu $91,93 \text{ g N}_2\text{O ha}^{-1}$, resultando em alto pico de emissão. Soares (2016) em seu estudo na cidade de Campinas/SP se deparou com pico de emissão próximo de $80 \text{ g N}_2\text{O ha}^{-1}$, abaixo do encontrado neste estudo. Esse pico de emissão coincide com a ocorrência de chuvas logo após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados (Figura 5), maior EPSA (Figura 6) e também maiores teores de NO_3^- no solo (Figura 8). Resultado semelhante é reportado por Tonetto (2016), que associou os maiores picos de emissão com chuvas após aplicação de duas fontes de N. A combinação de alto EPSA e alto teor de NO_3^- no solo é um indicativo de que o processo de desnitrificação pode

ter favorecido as emissões de N_2O para a atmosfera. É fato que 50% do N no nitrato de amônio está prontamente disponível na forma nítrica e, quando tem-se a restrição de O_2 no solo causado pelo alto EPSSA, a emissão antecipada é favorecida às demais fontes de N, já que nestas o N está presente inicialmente na forma amoniacal, sendo necessário ocorrer o processo de nitrificação, favorecido quando o EPSSA está abaixo de 60%, desta forma, este processo é praticamente nulo na primeira coleta, resultado similar foi descrito por Carvalho *et al.* (2008). Pequenos incrementos no fluxo de N_2O também foram observados para os tratamentos ureia comum e ureia+NBPT, 20,16 e 34,94 g N_2O ha dia^{-1} , respectivamente. Da mesma forma como discutido anteriormente, os menores teores de NO_3^- no solo observados nestes tratamentos resultaram em menores fluxos de N_2O .

Figura 9 – Fluxos diários de emissão de N_2O (g N- N_2O ha $^{-1}$ dia $^{-1}$) durante a safra do milho 2022/2023 com diferentes fertilizantes nitrogenados em Curitiba/SC.



Fonte: Autor, 2023.

As 4 coletas seguintes ao primeiro pico de emissão tiveram baixos fluxos de N_2O devido à ocorrência de um período sem precipitações relevantes, causando redução no EPSSA (Figuras 5 e 6), demonstrando que, para ocorrerem fluxos de emissões mais elevados, o EPSSA deve estar acima de 55% (BACCA, 2018), favorecendo assim o processo de desnitrificação.

Com o retorno de precipitações, o EPSA aumentou e aconteceu um novo pico de emissão de N_2O (Figura 9). Neste segundo momento, o tratamento ureia+NBPT apresentou fluxos mais elevados que os demais, seguido do tratamento ureia comum. O pico mais tardio observado para estes tratamentos deve estar relacionado a dinâmica do N no solo. Como discutido anteriormente, o uso de fertilizantes nitrogenados que apresentam o N na forma de ureia retarda um pouco o aparecimento de NH_4^+ e NO_3^- no solo.

Um resultado inesperado foi o fluxo de N_2O mais expressivo no tratamento ureia + NBPT. No momento da aplicação da ureia foi possível perceber uma coloração verde mais opaca neste fertilizante. Isso pode ser um indicativo de que o inibidor de urease pode ter perdido um pouco de sua efetividade. A temperatura pode proporcionar grande influência ao tempo de armazenamento da ureia+NBPT. Cantarella *et al.* (2016) testaram o armazenamento em dois locais no Brasil e concluíram que no sul do país onde a temperatura era mais amena ela ainda manteve suas características de qualidade ao longo de 9 meses, já em locais mais quentes (centro-norte) após 6 meses de armazenamento o fertilizante perdia eficácia significativamente. Outro trabalho, de Soares (2011) comparou a utilização de ureia+NBPT adicionando o inibidor 1 dia antes da aplicação com a armazenagem nas condições de 25°C e 35°C por 1, 3, 6 e 9 meses, em ambas as temperaturas. Ele então concluiu que em 3, 6 e 9 meses de armazenamento à 35°C houve diferença significativa com a adição de NBPT 1 dia antes a aplicação, assim como com 6 e 9 meses de armazenamento a 25°C.

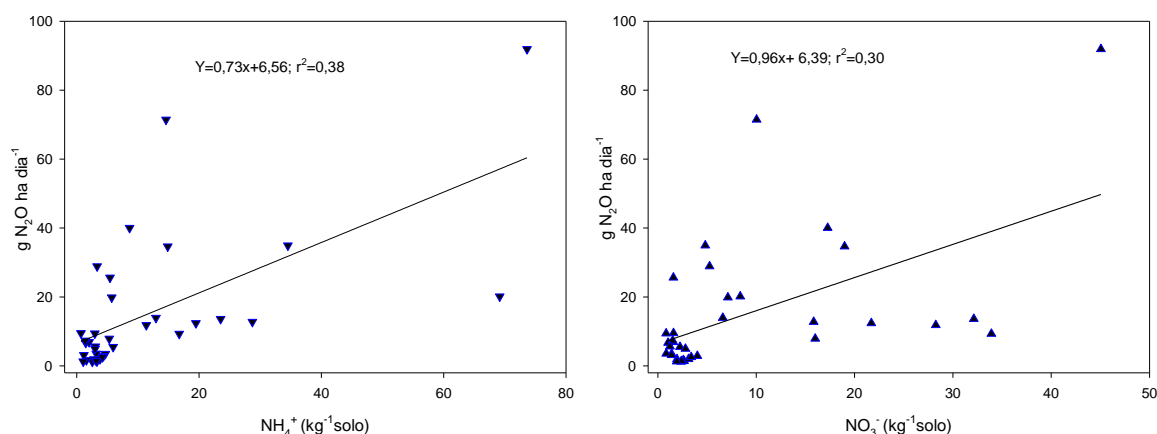
Após o segundo pico, quase um mês depois da aplicação de N no solo, não ocorreram novos incrementos na emissão de N_2O , com fluxos em sua maioria se mantendo inferiores a 20 g N_2O ha dia⁻¹. Resultado parecido foi encontrado por Pilecco (2013), que em dois anos de estudo observou que os fluxos de N_2O decresciam após aproximadamente um mês da aplicação de fertilizantes nitrogenados.

Neste trabalho, após dois meses do segundo pico de emissão, o EPSA foi superior a 80% para o tratamento com ureia comum (Figura 6), ocasionando em um fluxo de emissão de 28,09 g N_2O ha dia⁻¹.

É possível correlacionar a curva de emissão de N_2O com a concentração de N inorgânico na forma de NO_3^- no solo (Figura 10). Quando a concentração deste reduziu para os mesmos níveis encontrados antes da fertilização com N em cobertura, não houveram picos de emissão como encontrados logo após a fertilização de cobertura. Matos (2011) também chegou a este mesmo padrão de resultado, com 10 a 15 mg NO_3^- kg⁻¹ de solo logo após aplicação de ureia como fonte de N ocorreram picos de emissão e, após aproximadamente 20 dias os teores de NO_3^- reduziram a valores próximos de 3 mg NO_3^- kg⁻¹, acompanhado pela redução nos picos

de emissão. Acredita-se que a concentração de NH_4^+ no solo influenciou em menor proporção a emissão de N_2O , mesmo em altas concentrações em alguns picos de emissão (Figura 10). Em média o EPSA (Figura 6) durante este experimento manteve-se aproximadamente em 70%, não favorecendo a nitrificação do NH_4^+ . Isso foi comprovado por Bateman e Baggs (2005), que em 70% do EPSA, ocorre em maiores proporções o processo de desnitrificação.

Figura 10 – Correlação entre os fluxos de emissão de N_2O ($\text{g ha}^{-1}\text{dia}^{-1}$) e N-NH_4^+ kg^{-1} solo e N-NO_3^- kg^{-1} solo.



Fonte: Autor, 2023.

4.4 FATORES DE EMISSÃO E EMISSÃO ACUMULADA POR MEGAGRAMA DE GRÃO PRODUZIDO

O menor valor de emissão cumulativa foi observado no tratamento sem a aplicação de N (Tabela 3). Dentre os tratamentos em que foi realizada a aplicação de N, o menor valor de emissão acumulada foi observado para ureia+NBPT ($1017,8 \text{ g N}_2\text{O ha}^{-1}$), seguido de ureia comum e nitrato de amônio ($1096,8$ e $1104,8 \text{ g N}_2\text{O ha}^{-1}$, respectivamente), não havendo diferença significativa entre os tratamentos. O trabalho de Besen *et al.* (2015), também realizado na fazenda experimental da UFSC, campus de Curitibanos/SC, avaliando a ureia e ureia+NBPT na cultura do milho, obteve uma emissão acumulada para os tratamentos: testemunha, ureia e ureia+NBPT abaixo do encontrado neste trabalho, sendo aproximadamente $60 \text{ g N}_2\text{O ha}^{-1}$, $550 \text{ g N}_2\text{O ha}^{-1}$ e $400 \text{ g N}_2\text{O ha}^{-1}$, respectivamente, contudo a dose de N aplicada em cobertura foi menor, 100 kg ha^{-1} . Os autores também realizaram a avaliação da cultura subsequente, o trigo, e encontraram que a ureia+NBPT foi a qual apresentou maior emissão de N_2O . E esse resultado se deu por consequência do armazenamento por 6 meses até seu uso, reduzindo o potencial como inibidor, assim como visto no presente trabalho (Tabela 3).

Tabela 3 – Emissão acumulada de N₂O (g N-N₂O ha⁻¹) e fator de emissão (% de N perdido) durante o cultivo do milho.

Tratamentos	N ₂ O acumulado g N-N ₂ O ha ⁻¹	Fator de emissão (FE) % N perdido
Controle	344,0 a*	-
Ureia+NBPT	1017,8 a	0,42 a*
Ureia comum	1096,8 a	0,47 a
Nitrato de amônio	1104,8 a	0,48 a
Média	1049,84	0,46
CV (%)	56,03	40,64

*Valores seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância.

Em relação à proporção de N adicionado que foi perdido na forma de N₂O, o fator de emissão (FE), o tratamento com ureia+NBPT apresentou 0,42%, não diferindo estatisticamente de ureia comum (0,47%) e do nitrato de amônio (0,48%), todos abaixo do FE de 1% proposto pelo IPCC (2014). Aplicando dejetos líquidos de bovinos e ureia comum como fontes de N, Tonetto (2016) também encontrou valores de FE abaixo de 1%, exceto para o tratamento em que foi aplicado dejetos líquido de bovino incorporado ao solo + ureia em cobertura (1,27%).

Na avaliação da produtividade da cultura do milho (Tabela 4), o tratamento controle apresentou valor médio de 3,05 Mg ha⁻¹, o menor entre os demais, resultado já esperado para a parcela sem N aplicado em cobertura. O tratamento fertilizado com ureia comum, apresentou a melhor média de produtividade (5,94 Mg ha⁻¹), não diferindo estatisticamente de ureia+NBPT (5,82 Mg ha⁻¹) e sendo melhor que o nitrato de amônio (5,42 Mg ha⁻¹). As produtividades obtidas ficaram abaixo da expectativa de 12 Mg ha⁻¹, provavelmente devido à alta infestação de cigarrinha na área em que a cultura estava implantada, desde o início do seu desenvolvimento. Embora tenham sido realizadas diversas aplicações de inseticida na área, o controle do inseto não foi satisfatório. Sabe-se que essa praga tem o potencial de reduzir em até 70% a produtividade do milho (ÁVILA, 2021).

Tabela 4 – Rendimento de grão da cultura do milho em Megagrama/hectare e gramas de N₂O/Mg de grãos produzido da cultura do milho.

Tratamentos	Rendimento Mg ha ⁻¹	N ₂ O/rendimento g Mg grão ⁻¹
Controle	3,05 b*	111,09 a*
Ureia+NBPT	5,82 a	173,75 a
Ureia comum	5,94 a	196,54 a
Nitrato de amônio	5,42 ab	208,27 a
Média	5,06	172,41
CV (%)	21,41	64,43

*Valores seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância.

Um aspecto importante para análise dos sistemas de produção é a relação entre emissão de N₂O e produtividade. Para a variável gramas de N₂O emitido para cada Mg de grão produzido, os tratamentos não diferiram estatisticamente entre si. O tratamento controle apresentou a menor emissão de N₂O por megagrama de grão produzido (Tabela 4). Oliveira *et al.* (2019), realizaram a aplicação de 70 kg ha⁻¹ de ureia na cultura do milho e obtiveram 108,40 g N₂O Mg⁻¹ grão, abaixo do encontrado neste trabalho, devido menor dose de N utilizada.

Os fluxos de emissão de N₂O são dependentes de variáveis climáticas e edáficas, desta forma demandando mais monitoramento e avaliações em cada ciclo do milho para efeitos de refinamento dos dados. As informações contidas neste estudo são válidas para Curitiba/SC, podendo apresentar comportamento distinto em outros locais de estudo.

5 CONCLUSÃO

Os resultados mostram que os fluxos médios diários de N_2O foram afetados pela fonte de N. Ocasionalmente em dois maiores picos de emissão.

Os fluxos de emissão acumulados para os tratamentos não foram influenciados diretamente pelas fontes de N aplicado no solo.

O aumento do EPSA em teores acima de 60%, em conjunto com o aumento nos teores de NH_4^+ e NO_3^- no solo, resultaram no aparecimento de ambos os picos de emissões de N_2O .

Os fatores de emissão ficaram todos abaixo de 1% proposto pelo IPCC (2014). As emissões de N_2O para cada Mg de grãos produzido, não apresentam diferença estatística entre as fontes de N utilizadas

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. F. *et al.* Emissão de Óxido Nitroso em Solos com Diferentes Usos e Manejos: uma revisão. **Revista em agronegócio e meio ambiente**, Maringá, v. 8, n. 2, p. 441-461, 3 ago. 2015. Centro Universitario de Maringa. <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2015v8n2p441-461>. Disponível em: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2015v8n2p441-461>. Acesso em: 11 set. 2022.
- ALVES, B. J. R. *et al.* **Emissões de óxido nitroso de solos pelo uso de fertilizantes nitrogenados em áreas agrícolas**. Comunicado técnico, 126, Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2010. 6 p.
- ALVES, M. G. O. **Dinâmica dos gases de efeito do sistema solo-planta em sistemas de integração**. 2017. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2017. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74131/tde-13122017-104152/publico/ME9223822COR.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2023.
- ARAÚJO, L. A. N.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.39, n.8, 771-777 p. Ago. 2004.
- ÁVILA, C. J. *et al.* **A cigarrinha (*dalbulus maidis*) e os enfezamentos do milho no Brasil**. Passo Fundo: Revista Plantio Direto, 2021. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1140427/1/37279.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2023.
- BACCA, A. **Dejetos de animais como fertilizante em longo prazo: impacto nas emissões de óxido nitroso e na produtividade das culturas**. 2018. 94 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15648/TES_PPGCS_2018_BACCA_ALESSA_NDRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 30 abr. 2023.
- BATEMAN, E. J.; BAGGS, E. M. **Contributions of nitrification and denitrification to N₂O emissions from soils at different water-filled pore space**. *Biology And Fertility Of Soils*, [S.L.], v. 41, n. 6, p. 379-388, 23 mar. 2005. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00374-005-0858-3>.
- BAYER, C. *et al.* **Mitigating greenhouse gas emissions from a subtropical ultisol by using long-term no-tillage in combination with legume cover crops**. 2016, *Soil Tillage Res* 161:86-94.
- BESEN, M. R. *et al.* **Emissões de óxido nitroso de diferentes fontes de nitrogênio nas culturas do milho e do trigo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015. Natal, 2015. p. 1-4. Disponível em: <https://www.eventossilos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/1506.pdf>. Acesso em: 12 maio 2023.
- BESEN, M. R. *et al.* Produtividade de milho e retorno econômico em sistema integrado de produção com doses de nitrogênio. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, [S.L.], v. 19, n. 1,

p. 94-103, 3 abr. 2020. Universidade do Estado de Santa Catarina.
<http://dx.doi.org/10.5965/223811711912020094>.

BORTOLI, M. *et al.* **Emissão de óxido nitroso nos processos de remoção biológica de nitrogênio de efluentes**. Concórdia: Abes – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2012. 6 p. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/esa/a/HtrgdCdpdT9b6hxSmhYZfkx/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 set. 2022.

BRASIL. SECRETARIA ESPECIAL DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS. (org.). **Plano Nacional de Fertilizantes 2050: uma estratégia para os fertilizantes no brasil**. Brasília: Governo Federal, 2021. 195 p. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2022/03/plano-nacional-de-fertilizantes-brasil-2050.pdf>. Acesso em: 30 set. 2022.

CANTARELLA, H. *et al.* SOLUTIONS TO IMPROVE NITROGEN USE EFFICIENCY FOR THE WORLD, 2016, Melbourne. **Stability of urease inhibitor added to urea**. Melbourne: International Nitrogen Initiative Conference, 2016. 4 p. Disponível em:
http://agronomyaustraliaproceedings.org/images/sampled/ini2016/pdf-papers/INI2016_Cantarella_Heitor1.pdf. Acesso em: 09 maio 2023.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. **Fontes alternativas de N para a cultura do milho**. In: FANCELLI, A.L., ed. Milho: nutrição e adubação. Piracicaba, FEALQ, 2008. p. 36-55.

CARVALHO, A. M. *et al.* **Aplicação de diferentes fertilizantes nitrogenados: emissões de óxido nitroso em latossolo sob feijão e milho**. Brasília: Simpósio Nacional Cerrados, 2008. Disponível em:
https://www.cpac.embrapa.br/publico/simposio/trabalhos/00741_trab1_ap.pdf. Acesso em: 08 maio 2023.

CARVALHO, A. M.; ALVES, B. J. R.; PEREIRA, L. L. **Emissão de óxido nitroso do solo com aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em sistema plantio direto no cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010. Disponível em:
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/75866/1/bolpd-281.pdf>. Acesso em: 21 set. 2022.

CARVALHO, I. R. *et al.* **Demanda hídrica das culturas de interesse agrônômico**. Goiânia: Centro Científico Conhecer, 2013. Disponível em:
<https://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/CIENCIAS%20AGRARIAS/DEMANDA%20HIDRICA.pdf>. Acesso em: 08 maio 2023.

CARVALHO, T. A. *et al.* **Fator de emissão de N₂O em pastagem de urochloa brizantha l. Adubada com nitrato de amônio**. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 14., 2020, Campinas. Campinas: 2020. p. 1-13. Disponível em:
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/217605/1/Ligo-Fator-emissao-2020.pdf>. Acesso em: 28 set. 2022.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento de Safra Brasileira de Grãos, safra 2021/2022, 2022.

DE KLEIN C., HARVEY M.J. **nitrous oxide chamber methodology guidelines** –Version 1.1. 2016, Ministry for Primary Industries, Wellington.

DUETE, R. R. C. *et al.* **Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio pelo milho e latossolo vermelho**. São Paulo: Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2008.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/RK4km9L5BJYrTWHfHQdgRxQ/?format=pdf&lang=pt>.

Acesso em: 06 maio 2023.

EMBRAPA. **Cultivo do Milho**. 2015. Disponível em:

https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaoof6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=7905&p_r_p_-996514994_topicoId=8658. Acesso em: 25 abr. 2023.

FRACETTO, F. C. *et al.* **Emissões de N₂O do fertilizante nitrogenado na cana-deaçúcar (incubações em laboratório)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas.

GAVA, G. J. C. *et al.* **Balço do nitrogênio da uréia (15N) no sistema solo-planta na implantação da semeadura direta na cultura do milho**. *Bragantia*, n. 65, p. 477- 486, 2006.

IFA. **Consumption and production of fertilizer**. 2020. Disponível em:

<https://www.ifastat.org/databases/plant-nutrition>. Acesso em: 18 set. 2022.

IPCC, 2014: **Climate change 2014: synthesis report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp

KAPPES, C.; ZANCANARO, L.; JESUS, F. V. **Doses de nitrogênio, via ureia e nitrato de amônio, em cobertura no milho safrinha em sucessão à soja**. In: SEMINÁRIO NACIONAL, MILHO SAFRINHA, ESTABILIDADE E PRODUTIVIDADE, 12., 2013, Dourados. (Seminário). Dourados: Embrapa, 2013. p. 1 – 6.

KEENEY D. R.; NELSON D. W. 1982. **Nitrogen-inorganic forms**. In: Page AL, Miller RH, Keeney D R (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties*, 2nd ed Agronomy. Monograph 9. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 643–698.

KIM D.G.; GILTRAP D. **Determining optimum nitrogen input rate and optimum yield-scaled nitrous oxide emissions: theory, field observations, usage, and limitations**. *Agric Ecosyst Environ* v. 247, p. 371-378, 2017.

LIMA, L. B. **Emissões de N₂O em sistemas agrícolas**. 16. ed. Goiânia: Centro Científico Conhecer, 2013. 18 p. 9 v. Disponível em:

<https://www.conhecer.org.br/enciclop/2013a/agrarias/emissoes.pdf>. Acesso em: 12 set. 2022.

LOPES, I. M. *et al.* **Emissions of N₂O in soils under sugarcane cultivation in the atlantic forest biome: effect of harvesting systems and vinasse fertilization**. *Revista Virtual de*

Química, Seropédica, v. 9, n. 5, p. 1930-1943, ago. 2017. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20170113>. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1080491/1/2017039.pdf>. Acesso em: 12 maio 2023.

LOURENÇO, K. S. *et al.* **Lixiviação de nitrogênio influenciada pela presença de inibidores de urease em adubos orgânicos e minerais.** Anais XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Florianópolis, 4p., 2013.

MATOS, T. S. **Avaliação da eficiência agrônômica de novos fertilizantes nitrogenados granulados baseados no uso da ureia.** 2011. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, Ufrj, Seropédica, 2011.

MOLIN, S. J. **Desempenho de fertilizantes nitrogenados na volatilização de amônia, na lixiviação e no rendimento do feijoeiro.** 2016. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Estadual de Santa Catarina, Lages, 2016.

MORAIS, R. F. *et al.* **Emissões de N₂O provenientes da aplicação de ureia e sulfato de amônio em um argissolo cultivado com capim-elefante.** Seropédica: Embrapa. 2011.

MORAIS, R. F. **Manejo do nitrogênio e emissão de gases de efeito estufa na produção de capim-elefante para bioenergia.** 2011. 105 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/bitstream/jspui/1216/2/2011%20-%20Rafael%20Fiusa%20de%20Moraes.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2023.

MORO, E. *et al.* Bactérias amonificantes e nitrificantes e teores de amônio e nitrato afetados por plantas de cobertura e fertilizantes nitrogenados. Dourados: **Revista Agrarian**, v. 9, n. 33, 08 out. 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1073260/1/CNPAF2016ra.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2023.

MORO, V. J. **Emissão de gases de efeito estufa na cultura da cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de preparo do solo e doses de nitrogênio.** 2012. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/5563/MORO%2c%20VAGNER%20JOAO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 29 abr. 2023.

MOSIER A.R. **Chamber and isotope techniques.** In: Andreae MO, Schimel DS (eds) Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere: report of the Dahlem Workshop. 1989, Wiley, Berlin, pp 175–187.

OCDE/FAO. **Perspectivas agrícolas da OCDE-FAO 2018-2027.** 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2018-en. Acesso em: 20 set. 2022.

OCDE/FAO. **Perspectivas agrícolas da OCDE-FAO 2022-2031.** 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/f1b0b29c-en>. Acesso em: 21 set. 2022.

OLIVEIRA, A. D. *et al.* **Importância do sistema plantio direto na redução da emissão de gases de efeito estufa no Cerrado.** Planaltina: EMBRAPA, 2019. 12p. (EMBRAPA. Circular Técnica, 41).

OLIVEIRA, A. D. *et al.* **Nitrato e amônio no solo sob plantio direto.** In: XX CONGRESO LATINOAMERICANO Y XVI CONGRESO PERUANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 20., 2014. Cusco: Slcs, 2014. p. 1-7. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1014022/1/CongressoLatinoamericanoPeruanoCienciadoSolo19.pdf>. Acesso em: 05 maio 2023.

OLIVEIRA, W. R. D. **Quantificação das emissões de N₂O resultantes de fertilizante, fixação de N₂ e resíduos de colheita em argissolo vermelho amarelo.** 2009. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009. Disponível em: <https://tede.ufrrj.br/jspui/bitstream/tede/283/1/2009%20-%20Willian%20Roberson%20Duarte%20de%20Oliveira.pdf>. Acesso em: 28 set. 2022.

PILECCO, G. E. **Emissão de óxido nitroso e produtividade do girassol sob diferentes fontes de adubação nitrogenada.** 2013. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/5575/PILECCO%2c%20GETULIO%20ELIAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 30 abr. 2023.

REETZ, H. F. **Fertilizantes e seu uso eficiente.** Paris: Ifa - International Fertilizer Industry Association, 2016. 179 p. Alfredo Scheid Lopes. Disponível em: <https://www.ufla.br/dcom/wp-content/uploads/2018/03/Fertilizantes-e-seu-uso-eficiente-WEB-Word-Ouubro-2017x-1.pdf>. Acesso em: 04 set. 2022.

SDR. **Curitibanos: caracterização regional.** 34 p, maio 2003. Disponível em: http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/diagnostico/CURITIBANOS.pdf. Acesso em: 02 set. 2022.

SIMPLICIO, S. S. *et al.* Nitrato de Amônio: Mocinho ou Vilão? **Revista virtual de química**, Petrolina, v. 13, n. 1, p. 156-166, 27 out. 2020. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20200139>. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v13n1a11.pdf>. Acesso em: 09 set. 2022.

SOARES, J. R. **Emissão de N₂O e opções de mitigação pela aplicação de fertilizantes nitrogenados no cultivo de cana-de-açúcar.** 2016. 105 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agrônomo Curso de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Campinas, 2016. Disponível em: <https://www.iac.sp.gov.br/areadoinstitutoposgraduacao/repositorio/storage/pb742112.pdf>. Acesso em: 09 maio 2023.

SOARES, J. R. **Efeito de inibidores de urease e de nitrificação na volatilização de nh₃ pela aplicação superficial de ureia no solo.** 2011. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agrônomo Curso de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Campinas, 2011. Disponível em: <https://www.iac.sp.gov.br/areadoinstitutoposgraduacao/repositorio/storage/pb1214209.pdf>. Acesso em: 08 maio 2023.

TONETTO, F. **Emissões de amônia e óxido nitroso após aplicação de dejetos de bovinos na semeadura e ureia em cobertura na sucessão trigo/milho em plantio direto**. 2016. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016. Disponível em:

<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/11679/tonetto%2c%20Felipe.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 30 abr. 2023.

VIEIRA, R. F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Brasília: Embrapa Meio Ambiente, 2017. 165 p. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/175460/1/2017LV04.pdf>. Acesso em: 12 set. 2022.

VIEIRA, V. M. *et al.* Rendimento de grãos de milho sob diferentes sistemas de irrigação por aspersão. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 3, p. 471-485, 02 abr. 2013.

VILLALBA, H. A. G. *et al.* **Fertilizantes nitrogenados: novas tecnologias**. 2014.

Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/8A8C436B98265A2983257DB6006A962D/\\$FILE/Page12-20-148.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/8A8C436B98265A2983257DB6006A962D/$FILE/Page12-20-148.pdf). Acesso em: 06 maio 2023.

WREGGE, M. S. *et al.* **Atlas climático da região sul do brasil: estados do paraná, santa catarina e rio grande do sul**. 2ª edição. Brasília: Embrapa, 2012. Disponível em:

<https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202005/13110041-atlas-climatico-da-regiao-sul-do-brasil.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2023.

ZAMBIAZI, M. P. *et al.* **Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia através da aplicação de ureia em solos agrícolas**. in: 1 Simpósio de Agronomia e Tecnologia em alimentos. 2014. Itapiranga. FAI.

ZANATTA, J. A. **Emissão de óxido nitroso afetada por sistemas de manejo do solo e fontes de nitrogênio**. 2009. 93 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em:

<http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=000690882&loc=2009&l=c0eb60b444ff3d3e>. Acesso em: 29 abr. 2023.