

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ  
CAMPUS PROFESSORA CINOBELINA ELVAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: SOLOS E NUTRIÇÃO  
DE PLANTAS

EMISSÕES DE OXÍDO NITROSO EM ÁREAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA E  
CERRADO NATIVO

ELIAS GOMES DE OLIVEIRA FILHO

BOM JESUS – PI  
2018

ELIAS GOMES DE OLIVEIRA FILHO

EMISSÕES DE OXÍDO NITROSO EM ÁREAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA NO  
BIOMA CERRADO

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal do Piauí,  
Campus Professora Cinobelina Elvas,  
para obtenção do título de “Mestre”  
em Agronomia, na área de  
concentração em Solos e Nutrição de  
Plantas.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Medeiros

Co-orientador: Dr. Henrique Antunes de Souza

BOM JESUS - PI  
2018

FICHA CATALOGRÁFICA  
Universidade Federal do Piauí  
Biblioteca Setorial de Bom Jesus  
Serviço de Processamento

ELIAS GOMES DE OLIVEIRA FILHO

EMISSÕES DE OXÍDO NITROSO EM ÁREAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA NO  
BIOMA CERRADO

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal do Piauí,  
Campus Professora Cinobelina  
Elvas, para obtenção do título de  
“Mestre” em Agronomia, na área de  
concentração em Solos e Nutrição de  
Plantas.

APROVADA em 30 de Julho de 2018

Pesquisador. Dr. Henrique Antunes de Souza

(Embrapa Meio Norte)

Prof. Dr<sup>a</sup>. Jaqueline Dalla Rosa

(UFSB/CJA-CFCAF)

Prof. Dr. Julian Junio Lacerda

(UFPI/CPCE)

Prof. Dr. João Carlos Medeiros (UFSB/CJA-CFCAF)  
(Orientador)

BOM JESUS - PI  
2018

## BIOGRAFIA

Elias Gomes de Oliveira Filho, filho de Elias Gomes de Oliveira e Néria de Almeida Santos de Oliveira, nasceu em Eunápolis - BA, aos 03 dias do mês de Novembro de 1993. Em 2011 ingressou na Universidade Federal do Piauí (UFPI) no curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica, graduando-se em 2016. No mesmo ano ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal do Piauí, na área de concentração em Ciência do Solo e linha de pesquisa: Recursos Ambientais, Uso e Manejo do Solo e da Água.

Não há objetivos impossíveis de serem alcançados. O que temos são objetivos que só podem ser realizados mediante muita dedicação, disciplina e esforço.

Rodolfo Neves

À Deus, por sempre iluminar o meu caminho e a todos aqueles que acreditaram em mim, apoiando-me e incentivando-me, dando-me força para que este sonho fosse concretizado, em especial aos meus pais Elias Gomes de Oliveira, e Néria de Almeida Santos de Oliveira, meus avós, orientadores, professores e amigos.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, saúde, força e sabedoria e por ter me iluminado em tantos momentos de minha vida.

Agradeço aos meus pais Elias Gomes de Oliveira e Néria de Almeida Santos de Oliveira, por terem dado amor, apoio, confiança, companheirismo, ter proporcionado uma boa educação e por serem um grande exemplo de vida.

Agradeço aos meus familiares, especialmente aos meus avós, Enedino José dos Santos e Davina Santos de Almeida pelo apoio; Aos meus colegas de sala, onde muitos desses se tornaram amigos.

Aos meus orientadores João Carlos Medeiros, Jaqueline Dalla Rosa e Henrique Antunes de Souza, pela oportunidade, ensinamentos, paciência e incentivos. Assim como o corpo docente da Universidade Federal do Piauí que contribuíram para a minha formação acadêmica. Aos membros da banca devido as suas preciosas contribuições.

Agradeço aos amigos e estagiários da Embrapa, Adalto Sobrinho, Angélica Rocha, Celiomar Matos e Raphael Vinicius, pela ajuda na condução do trabalho e coleta de material para análises, em especial a Angélica Rocha pela realização de algumas análises na Embrapa Meio Norte.

Agradeço ao Dr. Henrique Antunes de Souza por disponibilizar o laboratório na Embrapa Meio Norte, para realização das análises e em especial a Dr<sup>a</sup> Diana Signor Deon pela realização das análises de gases na Embrapa Semiárido.

Agradeço aos meus amigos Juliana da Silva Barros, Jorge Barros, Fernando Figueiredo e aos meus tios Carlos Pinto da Silva e Maria das Graças de Jesus da Silva pelo apoio e auxílio, nas cidades de Teresina – PI e Ilhéus – BA, durante a execução do trabalho.

À CAPES, pela concessão de bolsa. Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Solos e Nutrição de Plantas pela oportunidade de ampliar e aprimorar meus conhecimentos.



## SUMÁRIO

RESUMO GERAL .....	12
CAPÍTULO 1 .....	14
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 Caracterização do Bioma Cerrado .....	15
2.2 Gases de efeito estufa e a agricultura.....	16
2.3 Gás oxido nitroso (N <sub>2</sub> O) .....	17
2.4 O Ciclo do nitrogênio relacionado aos fluxos de N <sub>2</sub> O em solos agrícolas .....	18
2.5 Manejo do solo e as emissões de N <sub>2</sub> O .....	20
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	21
CAPÍTULO 2 .....	26
RESUMO.....	26
ABSTRACT .....	27
1. INTRODUÇÃO .....	28
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	30
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
4. CONCLUSÃO .....	40
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Evolução dos fluxos de  $N_2O$  durante o desenvolvimento de culturas agrícolas em sistema de plantio direto no município de Bom Jesus, PI. MB=consórcio de milho e braquiária..... 35
- Figura 2.** Emissões totais de  $N-N_2O$  nos sistemas período avaliado no município de Bom Jesus, PI. MB=consórcio de milho e braquiária. .... 36
- Figura 3.** Análise de Componentes Principais (ACP) para  $N_2O$ , atributos físicos e químicos do solo em cultivos agrícolas sob plantio direto.....39

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Análise química do solo anterior a implantação dos sistemas de cultivo,.....

Erro! Indicador não definido.

**Tabela 2.** Atributos químicos do solo avaliados durante o período de monitoramento das emissões de N<sub>2</sub>O no município de Bom Jesus, PI...**Erro! Indicador não definido.**

**Tabela 3.** Atributos físicos do solo e temperatura do ar (TA) avaliados durante o período de monitoramento das emissões de N<sub>2</sub>O na área experimental, localizada no município de Bom Jesus, PI. ....**Erro! Indicador não definido.**

**Tabela 4.** Correlação de Pearson entre os atributos físicos e químicos do solo e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).....**Erro! Indicador não definido.**

## RESUMO GERAL

GOMES DE OLIVEIRA FILHO, Elias. **Emissões de óxido nítrico em áreas de produção agrícola no bioma Cerrado**. Piauí. 2018. 45p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, PI<sup>1</sup>.

O N<sub>2</sub>O é considerado um importante gás de efeito estufa, devido ao seu alto potencial de aquecimento global. No Brasil, 87% do N<sub>2</sub>O liberado à atmosfera é proveniente da agricultura. Dessa forma, ressalta-se a importância de avaliar as emissões em sistemas agrícolas, especialmente em regiões que apresentem forte aderência à agricultura, como o Cerrado nordestino, que tem apresentado nos últimos anos grande expansão agrícola. Com isso o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a dinâmica dos fluxos de N<sub>2</sub>O em sistemas de produção de grãos, e identificar a relação desses fluxos com os atributos físicos e químicos do solo. O trabalho foi realizado no Cerrado nordestino, município de Bom Jesus, PI. Os manejos constaram de diferentes sistemas de cultivo de grãos conduzidos sob sistema de semeadura direta: soja (SO), milho (MI), consórcio de milho e braquiária (MB) e como sistema de referência o Cerrado nativo (CN). A área experimental era de aproximadamente 0,5 ha, com quatro repetições. Para a coleta dos gases utilizou-se o método da câmara estática, instaladas a uma distância de 20 metros. A concentração de N<sub>2</sub>O foi calculada por meio de regressões lineares; a emissão total foi realizada estimando os dias não medidos, sendo calculada através da estatística descritiva (média e erro padrão). Foi realizada amostragem da temperatura do solo e do ar, umidade do solo, e feita amostragem do solo para determinação dos teores de variáveis químicas: amônio, nitrato, nitrogênio total, carbono orgânico e pH do solo. E teores de variáveis físicas: densidade, porosidade e eppa do solo. A fim de se observar a influência das variáveis físicas e químicas do solo sobre as emissões de N<sub>2</sub>O, utilizou-se a análise multivariada por meio da técnica da análise dos componentes principais (ACP), apresentada por meio dos gráficos biplot. Realizou-se também análise de correlação de Pearson, para constatar as possíveis correlações entre essas variáveis. Os sistemas de manejo com milho e consórcio milho e braquiária, ocorreu maiores fluxos de N<sub>2</sub>O e maior emissão total; verificando menores fluxos nos demais sistemas. As concentrações de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> disponíveis no solo foram diferentes entre os sistemas de manejo, apresentando correlação positiva com os fluxos de N<sub>2</sub>O; Enquanto os valores de Nt, COT, e pH do solo, não ocorreu diferença significativa entre os sistemas, diferindo do Cerrado nativo. A análise de componentes principais (ACP) relaciona alguns atributos físicos e químicos do solo com o fluxo de N<sub>2</sub>O para as culturas agrícolas e Cerrado nativo. No entanto é possível afirmar que o manejo da adubação nitrogenada aumenta os fluxos de N<sub>2</sub>O no solo.

Palavras-chave: mudanças climáticas, semeadura direta, gases de efeito estufa, adubação nitrogenada.

---

<sup>1</sup>Orientador: Prof. Dr. João Carlos Medeiros – UFSB/CFCAF. Campus Jorge Amado, Ilhéus–BA

## GENERAL ABSTRACT

GOMES DE OLIVEIRA FILHO, Elias. **Nitrous oxide emissions in agricultural production areas in the Cerrado biome**. Piauí. 2018. 45p. Dissertation (Master in Soil and Plant Nutrition) – Federal University of Piauí, PI<sup>1</sup>.

N<sub>2</sub>O is considered an important greenhouse gas because of its high potential for global warming. In Brazil, 87% of the N<sub>2</sub>O released into the atmosphere comes from agriculture. Thus, the importance of evaluating emissions in agricultural systems is stressed, especially in regions that show strong adherence to agriculture, such as the Northeastern Cerrado, which has presented great agricultural expansion in recent years. This work was developed with the objective of evaluating the dynamics of N<sub>2</sub>O fluxes in grain production systems, and to identify the relationship of these flows with the physical and chemical attributes of the soil. The work was carried out in the Northeastern Cerrado, municipality of Bom Jesus, PI. The management consisted of different systems of grain cultivation conducted under no-tillage system: soybean (SO), corn (MI), maize and brachiaria consortium (MB) and as reference system the native Cerrado (CN). The experimental area was approximately 0.5 ha, with four replicates. For the collection of gases, the static chamber method was used, installed at a distance of 20 meters. The concentration of N<sub>2</sub>O was calculated by means of linear regressions; the total emission was calculated by estimating the unmeasured days, being calculated through the descriptive statistics (mean and standard error). Sampling of soil and air temperature, soil moisture, and soil sampling were performed to determine the contents of chemical variables: ammonium, nitrate, total nitrogen, organic carbon and soil pH. E levels of physical variables: density, porosity and soil eppa. In order to observe the influence of soil physical and chemical variables on N<sub>2</sub>O emissions, multivariate analysis was performed using the Principal Component Analysis (PCA) technique, presented using the BIPLLOT graphs. Pearson's correlation analysis was also performed to verify the possible correlations between these variables. The management systems with maize and maize and brachiaria consortium had higher N<sub>2</sub>O flows and higher total emissions; verifying smaller flows in the other systems. The concentrations of NH<sup>4+</sup> and NO<sup>3-</sup> available in the soil were different among the management systems, presenting a positive correlation with N<sub>2</sub>O fluxes; While the values of Nt, COT, and soil pH, there was no significant difference between the systems, differing from the native Cerrado. Principal component analysis (PCA) lists some soil physical and chemical attributes with the N<sub>2</sub>O flow for agricultural crops and native Cerrado. However, it is possible to affirm that the nitrogen fertilization management increases the N<sub>2</sub>O fluxes in the soil.

.

Keywords: climate change, direct seeding, greenhouse gases, nitrogen fertilization

---

<sup>1</sup>Orientador: Prof. Dr. João Carlos Medeiros — UFSB/CFCAF. Campus Jorge Amado, Ilhéus–BA

## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é considerado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO 2014), um importante emissor de GEE. Conforme o último inventário brasileiro de mudanças climáticas, o qual refere-se ao período de 1990 a 2010, o Brasil emitiu 560 Gg de N<sub>2</sub>O, dividido em cinco setores. Desse total, 5,7% é proveniente do setor de energia, 0,4% de processos industriais, 84,2% do setor agropecuária, 8,4% do uso da terra, mudança de uso da terra e florestas e 1,3% do tratamento de resíduos (efluente doméstico). Do correspondente ao setor agropecuária, 80,7% das emissões são provenientes de solos agrícolas, cuja contribuições provêm de: animais em pastagens, fertilizantes sintéticos, dejetos de animais + vinhaça, resíduos agrícolas e solos orgânicos (MCTi, 2016). Dessa forma, o manejo dos solos agrícolas é um fator chave das emissões de N<sub>2</sub>O.

Apesar de emitido em menores quantidades que os demais GEE, o N<sub>2</sub>O, têm potencial de aquecimento global 310 vezes maior do que o CO<sub>2</sub>, com isso, possui grandes efeitos ambientais, devido à sua persistência na atmosfera, alto retorno radiativo e manejo pouco eficiente para sua mitigação (Gillete et al., 2017). Dessa forma, o aumento das emissões de N<sub>2</sub>O, pode causar aumento do efeito estufa e afetar diretamente a produção agrícola.

O Cerrado nordestino, tem apresentado nos últimos 20 anos grande expansão agrícola, com potencial de abertura de novas áreas e conseqüentemente mudança de uso do solo. Atualmente dentro desse bioma, existe a última fronteira agrícola do país, denominada de MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) com participação nacional em ascendência na produção de soja, milho e algodão (Mingoti et al., 2014). A incorporação de áreas desse bioma ao sistema produtivo, priorizou a modernização agrícola, de certa forma, ajudando e colaborando para a integração e a dependência da agricultura brasileira ao sistema agroalimentar mundial. Entretanto, a conversão de ambientes naturais, como o Cerrado em sistemas agrícolas pode contribuir com o aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera.

Dentre as regiões do Brasil, que já existem estudos sobre emissões de GEE, a Nordeste é a que possui menor quantidade, e na porção do Cerrado nordestino ainda não existem estudos avaliando emissões de N<sub>2</sub>O (Meurer et al. 2016). Com isso, estudos que detalhem a contribuição do setor agrícola nas emissões de N<sub>2</sub>O em regiões produtoras de

grãos, como por exemplo a região do Cerrado Nordestino, são justificados para se conhecer o potencial de emissão dos sistemas agrícolas empregados na região. Além disso, futuramente os dados do estudo poderão alimentar os relatórios anuais sobre mudanças climáticas e modelos matemáticos para elaboração de cenários sobre mudanças climáticas. Em função disso, o trabalho foi desenvolvido com o objetivo avaliar a dinâmica dos fluxos de N<sub>2</sub>O em sistemas de produção de grãos, e identificar a relação desses fluxos com os atributos físicos e químicos do solo.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Caracterização do Bioma Cerrado**

O Cerrado representa o segundo maior bioma brasileiro, corresponde a 25% do território nacional, com cerca de 204,7 milhões de hectares, superado apenas pela Floresta Amazônica (IBGE 2004). Em parte do estado do Piauí tem-se a ocorrência do bioma Cerrado, o qual representa por volta de 0,59% da área total do Cerrado brasileiro e 3,08% do Cerrado nordestino (IBGE 2004). O Piauí faz parte, atualmente, da nova fronteira agrícola do país, denominada de MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) com participação nacional em ascendência na produção de soja, milho e algodão (Mingoti et al., 2014).

A incorporação de áreas desse bioma ao sistema produtivo, priorizou a modernização agrícola, de certa forma ajudando e colaborando para a integração e a dependência da agricultura brasileira ao sistema agroalimentar mundial. Essa integração condicionou o tipo de produção e produtos a serem priorizados, sobretudo as culturas de grãos, consideradas as principais commodities da região no mercado internacional. Essa expansão na produção de alimentos e a utilização de áreas nativas do Cerrado incorporadas ao processo de produção agrícola, bem como as políticas públicas de incentivos ao setor, contribuíram substancialmente para uma nova configuração do espaço regional do cerrado, implicando em mudanças sociais, econômicas e ambientais (Pires, 2000).

As condições edafoclimáticas da região são favoráveis à produção de grãos e ainda existe potencial de expansão das áreas agrícolas (CONAB, 2013). Os solos desse bioma são de baixa fertilidade natural, mas com elevado potencial a mecanização agrícola (Manzato et al., 2002). Quando corrigidos quimicamente, possibilitam altas produtividades às culturas anuais. Principalmente, quando manejados de forma a



umentar os teores de carbono orgânico do solo (COS). A transformação de ambientes naturais, como o Cerrado, em sistemas agrícolas pode gerar degradação ambiental. Além disso, quando a exploração agrícola ocorre de maneira inadequada pode causar a degradação de extensas áreas.

Um dos requisitos para o sucesso da sustentabilidade dos agrossistemas é uma adequada cobertura do solo. Essa sustentabilidade pode ser alcançada através do manejo adequado do solo e das culturas implantadas, sendo a adubação verde uma das práticas mais recomendadas. Um dos sistemas de manejo do solo preconizados neste Bioma é o de semeadura direta, também conhecido como plantio direto (PD). Neste sistema não há o revolvimento do solo, ou seja, os resíduos vegetais acumulam-se na superfície, o que promove incremento nos teores de COS nas camadas superficiais do solo. Tal cobertura constitui um conjunto de ações integradas que trazem grandes benefícios aos solos e sistemas agrícolas em geral, como: proteção do solo contra erosão; aumento da capacidade de retenção de água; recuperação da estrutura do solo; adição de matéria orgânica; aumento da CTC; aumento de nitrogênio; controle de nematoides; aumento e diversificação da população de microrganismos do solo, incremento da capacidade de reciclagem e mobilização de nutrientes lixiviados ou pouco solúveis em camadas mais profundas do solo (DA SILVA et al., 2015; SEKI et al., 2015). No entanto, esses benefícios favorece a atividade biológica do solo que atua na ciclagem dos nutrientes através da degradação da matéria orgânica.

## **2.2 Gases de efeito estufa e a agricultura**

De acordo com a (FAO 2014) o Brasil é um importante emissor de GEE, classificado mundialmente como terceiro maior emissor. Dentre os GEE podemos citar o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), os clorofluorcarbonetos (CFC) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), como os principais causadores do aquecimento global em nosso planeta (Corrêa et al., 2016). Parte dessas emissões é oriunda da atividade agrícola, e podem ocorrer devido atividades como, cultivo, colheita, aplicação de fertilizantes e produtos fitossanitários. Um dos mais importantes GEE emitidos através da agricultura é o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), sendo essa, a principal fonte mundial de emissão desse gás para a atmosfera, através dos diferentes tipos de manejo de solo, e aplicações sucessivas de fertilizantes sintéticos nitrogenados, dentre outros fatores (Cavigelli et al., 2012). Em termos globais é possível inferir que aproximadamente 5% do efeito estufa atmosférico

total é oriundo do  $N_2O$ , entretanto, com uma média de 60% a 70% provenientes da produção animal e vegetal, respectivamente (Meurer et al., 2016). Atualmente, as concentrações atmosféricas de  $CO_2$ ,  $CH_4$  e  $N_2O$  são da ordem de 390,5 ppm, 1.803 ppb e 324,2 ppb, respectivamente (HARTMANN et al., 2013). Até o início da revolução industrial as concentrações atmosféricas de  $CO_2$  era de aproximadamente 280 partes por milhão (ppm) e níveis de  $CH_4$  variavam entre 400 partes por bilhão (ppb) e 700 ppb nos períodos glaciais e interglaciais, respectivamente (FORSTER et al., 2007).

Os aumentos nas concentrações atmosféricas de  $CO_2$ , caracterizando em termos globais, deve-se principalmente à queima de combustíveis fósseis e às mudanças de uso da terra, enquanto o aumento na concentração atmosférica de  $CH_4$  tem origem nas áreas naturalmente alagadas, corpos d'água, áreas agrícolas, aterros sanitários, na queima de combustíveis fósseis, de biocombustíveis e de biomassa e nos fluxos geológicos (Raymond et al., 2013). De acordo com Raymond et al., (2013), o uso de fertilizantes nitrogenados em solos agrícolas, queima de combustíveis fósseis e atividades industriais, queima de biomassa e de biocombustíveis e deposição atmosférica de N, o que causou um aumento de 0,73 ppb por ano ao longo dos últimos 30 anos. Caso as emissões de GEE, cresçam no mesmo ritmo das taxas anuais pode ocorrer um aumento de temperatura em torno de 4,8 °C e um aumento de até 82 cm no nível do mar ao longo dos próximos anos (IPCC, 2013).

O painel intergovernamental para mudanças climáticas (IPCC), propôs um índice chamando potencial de aquecimento global (PAG), o qual permite quantificar e comparar a capacidade de cada GEE de afetar a força radiativa, e expressa informações sobre qualquer GEE. Shine et al., (1990), afirma que o PAG de determinado gás é usado para padronizar os cálculos das emissões de todos os GEE em uma mesma unidade. Portanto, na integração matemática da força radiativa de 1 kg desse gás, em um determinado horizonte de tempo, em comparação à força radiativa de 1 kg de  $CO_2$ .

### **2.3 Gás oxido nitroso ( $N_2O$ )**

Atualmente no Brasil, 87% do  $N_2O$  liberado à atmosfera é proveniente da agricultura (Signor e Cerri, 2013), sendo os principais fatores responsáveis dessa emissão a conversão de áreas com vegetação nativa em agrícolas, as excretas de animais, a adubação nitrogenada na agricultura e as queimadas (Bustamante et al. 2012). De acordo com Gillete et al., (2017), o  $N_2O$  possui grandes efeitos ambientais, devido à sua

persistência na atmosfera, alto retorno radiativo e manejo pouco eficiente para sua mitigação, mesmo apresentando baixas concentrações na mesma. O  $N_2O$  consegue absorver aproximadamente 300 vezes mais radiação infravermelha que o  $CO_2$ . Destacando que a cada emissão de 1,0 kg de  $N_2O-N$  se tem o equivalente a 1,57 kg de gás  $N_2O$ , e cada quilograma de  $N_2O-N$  liberado seria equivalente a cerca de 470 kg de  $CO_2$  (Jensen et al., 2012).

O solo é um compartimento chave no processo de emissão do  $N_2O$ , o qual é produzido por microrganismos do solo e influenciado, principalmente, pelo teor de nitrogênio (N), pelo conteúdo de carbono orgânico e umidade do solo.

Para inventários de GEE, para os fertilizantes minerais nitrogenados, o Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC) considera para o cálculo de emissão de  $N_2O$ , o fator de emissão de 1% (3-0,3%). Dessa forma, é estimado que para cada 100 kg de adubo nitrogenado adicionado ao solo, 1kg de N pode ser emitido como  $N_2O$  para a atmosfera (IPCC, 2006). No entanto, estudos desenvolvidos em regiões tropicais indicam que esse fator de emissão (1%) é superestimado (Madari et al. 2007; Jantalia et al. 2008; Alves et al. 2010; Cruvinel et al. 2011; Alvarez et al. 2012; Carmo et al. 2013; Carvalho et al. 2014; Lessa et al 2014; Martins et., 2015). Com isso destaca-se a importância de estudos em ecossistemas específicos.

Sotta et al., (2008) observaram que as maiores perdas de  $N_2O$  para a atmosfera, são provenientes de solos argilosos, devido a maior quantidade de água retida e à grande quantidade de microporos existente no solo, podem se formar ambientes anaeróbicos, como por exemplo internamente dos agregados e haver o favorecimento da desnitrificação. Para solos arenosos, as emissões foram menores, devido a maior drenagem e menor capacidade de retenção da água, tornando o ambiente mais oxidado evitando os fluxos de  $N_2O$ .

#### **2.4 O Ciclo do nitrogênio relacionado aos fluxos de $N_2O$ em solos agrícolas**

O ciclo do nitrogênio se divide em diversas etapas, onde temos a fixação biológica do nitrogênio, a amonificação, a nitrificação e a desnitrificação, e com essa grande variabilidade de formas inorgânicas em que o nitrogênio se apresenta no sistema solo esse elemento tem uma ciclagem composta de diversas transformações promovidas pela ação direta de microrganismos e plantas, que são de grande importância no ambiente, contribuindo para a manutenção do sistema solo.

O  $N_2$  é um dos elementos mais abundante na atmosfera, quimicamente muito estável. Através do processo de fixação de nitrogênio o  $N_2$  é transformado em formas reativas que pode acontecer por via biológica ou físico-química (combustão, produção de  $NH_3$  ou  $HNO_3$  etc.). Existe também algumas moléculas constituintes da atmosfera onde contém o elemento nitrogênio em menor quantidade são o  $N_2O$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ , ácido nítrico ( $HNO_3$ ) e amônia ( $NH_3$ ). Estes são quimicamente reativos e tem importante papel em problemas ambientais contemporâneos (Brasseur et al., 1999). O processo de nitrificação requer condições de oxidação em que o  $CO_2$  é usado como fonte de carbono. A energia necessária ao processo é obtida da oxidação do amônio ( $NH_4^+$ ). Esse processo ocorre em duas etapas, na primeira o  $NH_4^+$  é oxidado a nitrito ( $NO_2^-$ ) pelas bactérias *Nitrosomonas* ( $2NH_4^+ + 3O_2 = 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+$ ) e a segunda o  $NO_2^-$  é oxidado a nitrato ( $NO_3^-$ ) pelas bactérias *Nitrobacter* ( $2NO_2^- + O_2 = 2NO_3^-$ ) (Cardoso et al., 2001). O  $NH_4^+$  oxidado a  $NO_2^-$  origina produtos intermediários como a hidroxilamida ( $NH_2OH$ ) que é decomposta quimicamente em desnitrificação química (Yamaguchi et al., 1994).

O  $N_2O$  é gerado através de processos de nitrificação e desnitrificação, onde se tem a conversão do nitrito em nitrato ( $NO_3^-$ ) e posteriormente as perdas de  $N_2O$ , que é liberado para a atmosfera. A desnitrificação ocorre com alta umidade do solo, restringindo o fornecimento de  $O_2$ , assim facilitando a degradação do N por microrganismos anaeróbicos, que utiliza o carbono orgânico mineralizável como fonte de energia, para que essa degradação ocorra, com isso o N é liberado na forma de gás para a atmosfera (Jensen et al., 2012). He et al., (2016) afirmou que o processo de nitrificação é a principal causa da baixa eficiência dos fertilizantes, assim contaminando o lençol freático através da lixiviação e também resultando na emissão de gás efeito estufa  $N_2O$  através do processo final, que é a desnitrificação. Entretanto existem inibidores de nitrificação, com funções de impedir as atividades das bactérias nitrificantes do solo, mantendo o N na forma amoniacal ( $NH_4^+$ ) por um maior tempo; e com isso reduzindo perdas por desnitrificação e lixiviação do nitrato (Harty et al., 2016).

Apesar de extremamente abundante na atmosfera, o nitrogênio é frequentemente o nutriente mais limitante do crescimento das plantas e isto acontece porque as plantas apenas conseguem absorver o nitrogênio sob as formas de amônio ( $NH_4^+$ ) e nitrato ( $NO_3^-$ ) (Elke e Andreotti 2016). De acordo com Matson & Vitousek, (1990), os processos microbiológicos de nitrificação e de desnitrificação que ocorrem nos solos são os que mais contribuem para as emissões de  $N_2O$ . Com isso os produtos resultantes do processo acumulam-se e eventualmente são liberados na forma de  $N_2O$  na atmosfera (Cardoso et

al., 2001). Desnitrificação é a redução do  $\text{NO}_3^-$  em formas gasosas do nitrogênio ( $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  ou  $\text{NO}$ ). É o último passo no ciclo do nitrogênio e ocorre em ambientes limitados em  $\text{O}_2$  (anaeróbicos).

## **2.5 Manejo do solo e as emissões de $\text{N}_2\text{O}$**

As emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  variam de acordo com diversos fatores, entre eles, o uso a que o solo é destinado, propriedades, manejo e adubação do solo (Alves et al., 2012; Gillete et al., 2017; Fonseca da Silva et al., 2017). A dinâmica do carbono e do nitrogênio em solos está intrinsecamente associada e as práticas de manejo do solo para o aumento do carbono do solo podem efetivamente aumentar as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  por meio do favorecimento da nitrificação e desnitrificação. Entretanto, se manejada adequadamente a matéria orgânica do solo pode desempenhar um papel importante, em logo prazo, no armazenamento e sequestro de carbono pelo solo (Sisti et al., 2004; Madari et al., 2005;). O que foi verificado por Cerri e Cerri (2007) que o uso de práticas conservacionistas de manejo do solo, quando bem empregadas contribuem para o sequestro de carbono. Os autores, observaram que a adoção de práticas de manejo conservacionista, a exemplo do sistema de plantio direto, contribui para o sequestro de 9 Mt de C ano<sup>-1</sup>, no Cerrado brasileiro.

Outras práticas agrícolas que promovam a mitigação dos GEE são necessárias e uma alternativa para isso, é o uso do sistema de Integração Lavoura Pecuária Floresta (iLPF) que além de melhorar a qualidade do solo e diminuir a degradação de pastagens, (Vilela et al., 2012) tem sido considerado como um sistema que oferece possibilidades de redução dos fluxos de GEE ( De Carvalho et al., 2017).

Em um estudo avaliando as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$ , em dois sistemas integrados, um de integração Lavoura Pecuária (iLP) e outro com o componente florestal associado (iLPF), foi observado que os fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$  no solo foram menores no sistema iLPF em comparação com o iLP. A diminuição nos fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$  foi relacionada à liteira formada pelas folhas de eucalipto que é rica em compostos fenólicos, levando a um menor carbono da biomassa microbiana (Carvalho et al., 2017).

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ C, Costantini A, Alvarez, CR, Alves BJ, Jantalia CP, Martellotto EE, Urquiaga, S. Soil nitrous oxide emissions under different management practices in the semiarid region of the Argentinian Pampas. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 2012;94:209220.

ALVES B.J.R.; Jantalia C.P.; Madari B.E.; Machado P.L.O.A.; Franchini J.C.; Santos J.C.; Boddey R. M.; Urquiagas S. Emissões de óxido nitroso de solos pelo uso de fertilizantes nitrogenados em áreas agrícolas Comunicado técnico vol. 126 (**Seropédica: Embrapa Agrobiologia**) p6. 2010.

ALVES, BJR et al. Emissões de óxido nitroso e óxido nítrico do solo em sistemas agrícolas. **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**, v. 1, p. 347, 2012.

BRASSEUR, Guy et al. **Atmospheric chemistry and global change**. Oxford University Press, 1999.

BUSTAMANTE, M. M. C.; Nardoto, G. B.; Pinto, A. S.; Resende, J. C. F.; Takahashi, F. S. C.; Vieira, L. C. G. Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado Ecosystems. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, p. 655-671, 2012.

CARDOSO, Alexandre N.; Saminêz, Tereza C.; Vargas, Milton A. Fluxo de gases-traço de efeito estufa na interface solo/atmosfera em solos de cerrado. **Embrapa Cerrados**, 2001.

CARMO J B et al. Infield greenhouse gas emissions from sugarcane soils in Brazil: effects from synthetic and organic fertilizer application and crop trash accumulation Global Change Biol. **Bioenergy** 5 267–80, 2013.

CARVALHO, J.L.N.; Rauccigs, Frazao L.A., Cerrice P.; Bernoux M.; Cerri C.C. Crop-pasture rotation: a strategy to reduce soil greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado **Agr. Ecosyst. Environ.** 183 167 – 175, 2014.

CAVIGELLI, Michel A. et al. US agricultural nitrous oxide emissions: context, status, and trends. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 10, n. 10, p. 537-546, 2012.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Soja: Safra 2013 Primeira Estimativa. Brasília: **CONAB**. 2013. Acesso em: 09 de abril 2018.

CORRÊA RS, Madari BE, Carvalho GD, Costa AR, Pereira ACC, Medeiros JC. (2016). Fluxos de óxido nitroso e suas relações com atributos físicos e químicos do solo. **Pesq. Agrop. Bras.** 2016;51:1148-1155.

CRUVINEL E.B.F.; Bustamante, M.M.C.; Kozovitsc A. R.; Zeppd A. R. Soil emissions of NO,N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> from croplands in the savanna region of central Brazil **Agr. Ecosyst. Environ.** 144, 29–40, 2011.

CERRI, Carlos Clemente; CERRI, Carlos Eduardo P. Agricultura e aquecimento global. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 40-44, 2007.

DA SILVA, Monica Martins et al. Plantas de cobertura e sistemas de preparo: impactos na qualidade física de um solo de Cerrado. **Ceres**, v. 56, n. 1, 2015.

FONSECA DA SILVA, Jéssica et al. Nitrous oxide emissions from sugarcane fields in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 246, p. 55-65, 2017.

FORSTER, Piers et al. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. Chapter 2. In: **Climate Change 2007. The Physical Science Basis**. 2007.

GILLETTE K, Ma L, Malone RW, Fang QX, Halvorson AD, Hatfield JL, Ahuja LR. Simulating N<sub>2</sub>O emissions under different tillage systems of irrigated corn using RZSHAW model. **Soil and Tillage Research**, 2017;165:268-278.

HARTMANN, Dennis L. et al. Observations: atmosphere and surface. In: Climate Change 2013 the Physical Science Basis: **Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, 2013.

HARTY MA, Forrestal PJ, Watson CJ, McGeough KL, Carolan R, Elliot C, Lanigan GJ. Reducing nitrous oxide emissions by changing N fertiliser use from calcium ammonium nitrate (CAN) to urea based formulations. **Science of the Total Environment**, 2016;563: 576-586.

HE, Tengxia et al. Heterotrophic nitrification and aerobic denitrification by *Pseudomonas tolaasii* Y-11 without nitrite accumulation during nitrogen conversion. **Bioresource technology**, v. 200, p. 493-499, 2016.

IBGE. Mapa de biomas do Brasil. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: **IBGE**, 2004. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>. Acesso em: 13 fev. 2018.

Intergovernmental Panel on Climate Change (**IPCC**) (2006), 2006 IPCC Guidelines for National Green-house Gas Inventories, vol. 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use, edited by S. Eggleston et al., **Inst. for Global Environ. Strategies**, Hayama, Japan.

JANTALIA, C.P.; SANTOS, H.P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 82:161-173, 2008.

JENSEN ES, Peoples MB, Boddey RM, Gresshoff PM, Hauggaard-Nielsen H, Alves BJ, Morrison MJ. Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, 2012;32:329-364.

LESSA, Ana Carolina R. et al. Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 104-111, 2014.



MADARI, Beáta et al. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 80, n. 1-2, p. 185-200, 2005.

MADARI B.E.; Costa A.R.; Jantalia, C.P.; Machado, P.L.O.; Cunha, M.B.; Martins, D.R.; Santos, J.H.G. Alves B.J. R. Fator de emissão de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) para a fertilização com N na cultura do feijoeiro comum irrigado no Cerrado. Comunicado Técnico, vol. 144 (**Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão**). 2007.

MANZATTO, Celso Vainer et al. Potencial de uso e uso atual das terras. **Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: Embrapa Solos**, p. 13-21, 2002.

MATSON, P. A.; Vitousek, P. M. Ecosystem approach to a global nitrous oxide budget. **Bioscience**, v. 40, n. 9, p. 667-672, 1990.

MARTINS, Marcio R. et al. Nitrous oxide and ammonia emissions from N fertilization of maize crop under no-till in a Cerrado soil. **Soil and Tillage Research**, v. 151, p. 75-81, 2015.

MCTI (2016). Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Volume III/ Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação**. 336 p.

MEURER, K.H.E.; Franko U.; Stange C.F.; Dalla Rosa J.; Madari B.E; Jungkunst H.F. Direct nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) fluxes from soils under different land use in Brazil - a critical review. **Environ. Res. Lett.** 11, 2016.

MINGOTI, R. et al. Matopiba: caracterização das áreas com grande produção de culturas anuais. **Embrapa Gestão Territorial-Nota Técnica/Nota Científica (ALICE)**, 2014.

OLIVEIRA PIRES, Mauro. Programas agrícolas na ocupação do Cerrado. **Sociedade e cultura**, v. 3, n. 1-2, 2000.

RAYMOND, Peter A. et al. Global carbon dioxide emissions from inland waters. **Nature**, v. 503, n. 7476, p. 355, 2013.

REAY, Dave S. et al. Global agriculture and nitrous oxide emissions. **Nature climate change**, v. 2, n. 6, p. 410, 2012.

SEKI, André Satoshi et al. Efeitos de práticas de descompactação do solo em área sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, p. 460-468, 2015.

SHINE, K. R. G.; Derwent, D. ; Wuebbles, J.; Morcrette, J. J. Radiative forcing of climate. In: **Climate Change: The IPCC Scientific Assessment**. HOUGHTON, J. T. et al. Cambridge University Press, 1990. p. 41-68.

SIGNOR, Diana; CERRI, Carlos Eduardo Pellegrino. Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 3, p. 322-338, 2013.

SISTI, Claudia PJ et al. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and tillage research**, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.

SOTTA, E.D., Corre, M.D., Veldkamp, E., 2008. Differing N status and N retention processes of soils under old-growth lowland forest in Eastern Amazonia, Caxiuana, Brazil. **Soil Biology and Biochemistry** 40, 740–750.

VILELA, Lourival et al. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, 2012.

YAMAGUCHI-SHINOZAKI, Kazuko; SHINOZAKI, Kazuo. A novel cis-acting element in an Arabidopsis gene is involved in responsiveness to drought, low-temperature, or high-salt stress. **The Plant Cell**, v. 6, n. 2, p. 251-264, 1994.

## CAPÍTULO 2

### EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO (N<sub>2</sub>O) EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA NO CERRADO

#### RESUMO

OLIVEIRA FILHO, Elias Gomes de. **Emissões de Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) em sistemas de produção agrícola no cerrado**, Piauí. 2018, Cap. 2 – p. 26-45. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, PI<sup>1</sup>.

A agropecuária é considerada uma das principais formas responsáveis pelas emissões dos gases de efeito estufa (GEE). Dentre os GEE, o N<sub>2</sub>O é considerado um importante gás de efeito estufa, devido ao seu alto potencial de aquecimento global. Aproximadamente 80,7% das emissões de N<sub>2</sub>O são provenientes dos solos agrícolas. Dessa forma, ressaltasse a importância de avaliar as emissões em sistemas agrícolas, especialmente em regiões que apresentem forte aderência à agricultura. Assim, o trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a dinâmica dos fluxos de N<sub>2</sub>O em sistemas de produção de grãos, e identificar a relação desses fluxos com os atributos físicos e químicos do solo. O experimento foi realizado no município de Bom Jesus, PI. Os tratamentos constaram de diferentes sistemas de cultivo de grãos conduzidos sob sistema de semeadura direta: soja (SO), milho (MI), consórcio de milho e braquiária (MB) e como sistema de referência o Cerrado nativo (CN). A área experimental era de aproximadamente 0,5 ha, com quatro repetições. Para a coleta dos gases utilizou-se câmaras estáticas. A concentração de N<sub>2</sub>O foi calculada por meio de regressões lineares e a emissão total foi calculada através da estatística descritiva (média e erro padrão). No momento das coletas dos gases foram amostradas a temperatura do solo e do ar, e amostras de solo para determinação da densidade, espaço poroso preenchido por água, porosidade total, umidade gravimétrica e volumétrica e dos teores de amônio, nitrato nitrogênio total, carbono orgânico total e pH do solo. Os dados foram submetidos a comparação de médias pelo teste de SNK ( $p < 0,05$ ). Ainda, procedeu-se análise de componente principal (ACP) dos valores dos fluxos de N<sub>2</sub>O e das variáveis físicas e químicas do solo. Os tratamentos que apresentaram o maior fluxo de N<sub>2</sub>O foram milho e consórcio milho e braquiária. Os menores fluxos ocorreram nos tratamentos de soja e Cerrado nativo. Os maiores fluxos de N<sub>2</sub>O correlacionaram-se com o nitrato e o amônio disponíveis no solo, permitindo afirmar que a adubação nitrogenada, aumenta os fluxos de N<sub>2</sub>O no solo.

**Palavras chave:** mudanças climáticas, semeadura direta, gases de efeito estufa, adubação nitrogenada.

## ABSTRACT

OLIVEIRA FILHO, Elias Gomes de. **Emissions of Nitrous Oxide (N<sub>2</sub>O) in agricultural production systems in the closed**. 2018, Chap. 2, p. 26-45. Dissertation (Masters in Soil and Plant Nutrition) – Federal University of Piauí State, Brazil<sup>2</sup>.

Agriculture is considered one of the main forms responsible for emissions of greenhouse gases (GHG), with approximately 60% of the N<sub>2</sub>O emissions from agricultural soils. Thus, the work was developed with the purpose of evaluating the dynamics of N<sub>2</sub>O flows in grain production systems, and to identify the relationship of these flows with the physical and chemical attributes of the soil. The experiment was carried out in the municipality of Bom Jesus, PI. The treatments consisted of different systems of grain cultivation conducted under no - tillage system, being: soybean (SO), corn (MI), maize and brachiaria consortium (MB) and native Cerrado (CN) as reference system. The experimental area was approximately 0.5 ha, with four replicates. For the collection of the gases static cameras were used, installed at a distance of 20 meters. The N<sub>2</sub>O concentration was calculated by means of linear regressions, the total emission was calculated through the descriptive statistics (mean and standard error). At the time of collection of gases, soil and air temperature, soil moisture, and soil were collected for density determination, as well as ammonium, nitrate and soil pH. The data were submitted to a comparison of means by the SNK test (p <0.05). Also, the principal component analysis (PCA) of the values of the N<sub>2</sub>O fluxes and of the physical and chemical variables of the soil was carried out. The treatments with the highest flow of N<sub>2</sub>O were maize and maize and brachiaria consortium. The lowest fluxes occurred in soybean and native Cerrado treatments. The higher N<sub>2</sub>O fluxes correlated with nitrate and ammonium available in the soil; being possible to affirm that the nitrogen fertilization increases the flows of N<sub>2</sub>O in the soil.

**Keywords:** climate change, direct seeding, greenhouse gases, nitrogen fertilization

## 1. INTRODUÇÃO

O Cerrado nordestino, tem apresentado nos últimos 20 anos grande expansão agrícola, com potencial de abertura de novas áreas e conseqüentemente mudança de uso do solo. Entretanto, a conversão de ambientes naturais, como o Cerrado em sistemas agrícolas pode contribuir com o aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera. Dessa forma, é necessário o emprego de sistemas conservacionistas de manejo visando à redução das emissões e de estudos que avaliem o papel da agricultura local nas emissões de GEE.

Dentre os GEE o  $N_2O$ , apesar de emitido em menores quantidades que os demais gases, têm potencial de aquecimento global 310 vezes maior do que o  $CO_2$  e, um aumento modesto das emissões de  $N_2O$  pode compensar as adições líquidas de C ao sistema. O maior potencial de aquecimento da molécula de  $N_2O$  em relação ao  $CO_2$  está relacionado ao seu tempo de residência na atmosfera, estimado em mais de 100 anos ( $T=100$  anos) e a natureza das relações químicas capaz de absorver calor (Zanatta, 2009).

A agricultura é considerada como sendo a principal fonte emissora de  $N_2O$  à atmosfera (IPCC, 2007). No Brasil, 87% do  $N_2O$  liberado à atmosfera é proveniente da agricultura (Signor e Cerri, 2013). As principais atividades agrícolas que contribuem para esse cenário são a retirada e queimada das florestas, preparo intensivo dos solos agrícolas, queima de resíduos culturais, produção de animais extensivamente e o uso de fertilizantes nitrogenados (Bustamante et al., 2012). Além disso, os processos bióticos do solo contribuem com aproximadamente 90% da produção global de  $N_2O$  o qual é gerado através de processos de nitrificação e desnitrificação (Sousa et al., 2012). A nitrificação é favorecida em solos bem drenados e está diretamente relacionada ao suprimento de  $NH_4^+$ , enquanto que a desnitrificação ocorre em solos, ou em zonas do solo, com restrições de oxigênio e depende da disponibilidade de carbono orgânico e nitrato (Jensen et al., 2012).

Alguns estudos foram realizados em solos do Bioma Cerrado para avaliar os fluxos de  $N_2O$  pelo uso agrícola (Martins et al. 2015; Metay et al. 2011; Lessa et al. 2014) e em sistemas integrados de produção de iLP e iLPF (Carvalho et al., 2017), os fluxos acumulados de  $N_2O$  foram menores no sistema iLPF ( $2,84 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) em comparação com o iLP ( $2,05 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) e Cerrado nativo ( $-0,05 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). A nível nacional, dos estudos realizados no Brasil até o ano de 2015, sobre emissões de  $N_2O$ , considerando diferentes formas de uso do solo (floresta, pastagem e cultivos anuais) as maiores

emissões ocorrem em sistemas de rotação de pastagens com culturas anuais ( $4,26 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e as menores emissões em cultivos agrícolas ( $2,42 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ). E sob floresta, nos diferentes biomas, as menores emissões ocorrem no Cerrado ( $1,19 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) seguido pela mata atlântica ( $3,42 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e floresta amazônica ( $16,20 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) (Meurer et al. 2016). Dentre as regiões do Brasil, que já existem estudos sobre emissões de GEE, o Nordeste é a que possui menor quantidade, e na porção do Cerrado nordestino ainda não existem estudos (Meurer et al. 2016). Considerando o exposto, o trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a dinâmica dos fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$  em sistemas de produção de grãos, e identificar os atributos químicos e físicos do solo que possuem correlação com estes fluxos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido na área fazenda Vô Desiderio, localizada na Serra do Quilombo, pertencente ao município de Bom Jesus, Piauí, Nordeste do Brasil (9°16'20"S e 44°44'56"O). A altitude média da área experimental é de 610 m e a declividade é de 0,2%. De acordo com Barbosa Pragana et al. (2012), o solo predominante na região são Latossolos Amarelos distróficos com teores de argila próximo à 20 g kg<sup>-1</sup>.

O clima da região é caracterizado como tropical quente e seco, com estação seca bem definida (Aw segundo a classificação de Köppen). A precipitação média anual é de 1.000 mm e temperatura média anual de 26 °C.

A vegetação nativa foi caracterizada como Cerrado do tipo sub-caducifólia remanescente (Pragana et al., 2012). Inicialmente a área era ocupada por espécies nativas do Cerrado. Em 1995 a vegetação nativa da área experimental foi retirada, e a área foi destinada a agricultura, com cultivo de arroz, e em seguida soja e milho, cultivados até então.

O estudo foi realizado no período de dezembro de 2016 a abril de 2017. Os sistemas constaram de cultivos agrícolas conduzidos sob sistema de semeadura direta em palhada de milho, implantado no período posterior a colheita da última safra. As áreas empregadas no seguinte estudo apresentavam aproximadamente 0,5 ha: soja (SO), milho (MI), consórcio de milho e braquiária (MB) e como sistema de referência, utilizou-se uma área de Cerrado nativo (CN). As culturas agrícolas foram implantadas no dia 17/12/2016. Após a emergência do milho, foi semeado a lanço, a *Brachiaria decumbes* no sistema de consórcio.

A área empregada com os manejos SO, MI e MB apresentava na safra 2015/2016 a cultura da soja, sendo semeado milho ao final do ciclo da soja, para constituição de palhada, para proteção do solo; Na entressafra foi realizada análise de solo para caracterização da área conforme Tabela 1.

**Tabela 1.** Análise química do solo anterior a implantação dos sistemas de cultivo.

	pH	pH	H+Al	Al	Ca	Mg	K	SB	T	P	K	S	
cm	H2O	CaCl2	-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----						mg dm <sup>-3</sup>				
0-20	5,5	-	5,7	0,1	2,0	0,8	0,5	3,2	9,0	56,5	177,7	16,5	
20-40	5,2	-	4,2	0,2	1,0	0,3	0,3	1,7	5,8	19,4	122,5	17,1	
40-60	4,8	-	3,6	0,2	0,5	0,1	0,2	0,8	4,4	9,8	81,8	22,7	

cm	Na	Micronutrientes					V	m	M.O.	Argila	Silte	Areia
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	mg dm <sup>-3</sup>						
0-20	-	-	0,30	54,41	5,06	5,92	36	3	20	223	5	772
20-40	-	-					29	10	12	234	20	746
40-60	-	-					18	20	8	268	6	725

<sup>1</sup>Al: alumínio; B: boro; Ca: cálcio; Cm: centímetros; Cu: cobre; Fe: ferro; H+Al: hidrogênio+alumínio; K: potássio; m: saturação por alumínio; Mg: magnésio; Mn: mangânes; M.O: matéria orgânica; Na: sódio; P: fósforo; pH: potencial hidrogênico; S: enxofre; SB: soma de bases; T: etc; V: saturação por bases; Zn: Zinco;

Nos sistemas de milho e consórcio de milho com braquiária, realizou-se adubação nitrogenada para suprir a demanda nutricional da cultura, aplicando-se a lanço, 100 kg de N ha<sup>-1</sup> (fonte ureia), no final da fase vegetativa V8. A qual foi também distribuída no interior da área da câmara estática. Os tratos culturais foram os mesmos utilizados nos demais talhões da fazenda.

Os fluxos de N<sub>2</sub>O foram monitorados nos diferentes cultivos agrícolas durante o período de 28/02 a 22/04/2017. Para a coleta dos gases utilizou-se o método da câmara estática, descrito em Venterea, (2010), em que foram instaladas 4 câmaras em cada sistema, equidistantes 20 metros. As câmaras estáticas utilizadas foram do tipo base-tampa, confeccionadas a partir de aço galvanizado, com as seguintes dimensões: 40, 60, e 15 cm de largura, comprimento e altura, respectivamente). A base da câmara foi inserida no solo a 10 cm de profundidade, e nivelada para facilitar a vedação com água nas calhas de contato entre a base fixada ao solo e a tampa da câmara.

As amostragens dos gases foram realizadas no período matutino (entre 7 e 9 horas), e os tempos de coleta foram de 0, 15 e 30 minutos, após o fechamento das câmaras. Simultaneamente às coletas, mediu-se a temperatura do ar, dentro da câmara e do solo, a 0,10 m de profundidade. As coletas de gás foram realizadas a cada 7 dias, com exceção do período pós-adubação, onde coletou-se a cada 2 dias até o sétimo dia, resultando em um total de 10 coletas. A concentração de N<sub>2</sub>O foi determinada por cromatografia gasosa (Agilent, modelo 7890A). O cromatógrafo foi equipado com coluna empacotada, que continha Porapak Q e funcionava a 60 °C, e detector de captura de elétrons <sup>63</sup>Ni (ECD) a 300 °C. Para a calibração do Cromatógrafo, utilizaram-se padrões primários de N<sub>2</sub>O à concentração de 350 e 1.000 ppbv. O cálculo das concentrações de N<sub>2</sub>O, foram realizados através de regressões lineares.

As amostras deformadas de solo foram coletadas no período da amostragem dos gases, na camada 0-0,20 m de profundidade para avaliações químicas do solo, sendo



coletada uma amostra por camara, em todos os dias da amostragem dos gases. As amostras indeformadas de solo foram coletadas apenas na quinta amostragem dos gases, seguindo o padrão de três amostras por camara, para as avaliações físicas.

Nas amostras deformadas foram determinados o teor de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), a umidade gravimétrica ( $\theta_g$ ), o pH, a matéria orgânica do solo (MOS) e o nitrogênio total (Nt) do solo. Por meio da  $\theta_g$  e da  $D_s$ , foi possível calcular o espaço poroso preenchido por água (EPPA), descrito por Paul & Clark (1996). Na realização das análises químicas de pH, MOS, e Nt, as amostras de solo foram secas ao ar e peneiradas em peneira de malha de 2 mm (terra fina seca ao ar). A MOS foi determinada pelo método de Walkley-Black, segundo Embrapa (1997). Os teores de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  e Nt, foram determinados através do método Kjeldahl por destilador de nitrogênio. Os resultados de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  foram corrigidos de acordo com umidade gravimétrica do solo, para a obtenção em base de massa de solo seco. As amostras indeformadas foram coletadas utilizando-se cilindros de aproximadamente  $100 \text{ cm}^3$ , para determinação da densidade do solo ( $D_s$ ), porosidade total (PT), microporos (Mi) e macroporos (Ma). Os Ma foram determinados submetendo-se as amostras, após a saturação, a uma tensão de 0,06 kPa em câmaras de Richard (Claessen et al, 1997).

Para análise de dados foram calculadas as concentrações de  $\text{N}_2\text{O}$ , por meio de regressões lineares, através da subestimagem na função de Hutchinson & Mosier (1981) [função HM], da seguinte forma:  $F = (C1 - C0)2 / [t1 \times (2 \times C1 - C2 - C0)] \times \ln[(C1 - C0)/(C2 - C1)]$ , onde: F é o fluxo ( $\mu\text{L gás L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ); C0, C1, e C2 são as concentrações (ppbv - parte por bilhão, na base de volume) do gás na câmara de medição, nos tempos 0, 1 e 2, respectivamente; e t1 é o intervalo entre os tempos de amostragem (h). Para realização do cálculo das emissões totais foi necessário estimar os fluxos dos dias que não foram medidos, para obtenção do valor total de emissão calculado. De posse dos dados foi realizado a estatística de variância e teste de médias SNK ( $p < 0,05$ ) para os atributos físicos e químicos do solo.

A fim de se observar a influência das variáveis físicas e químicas do solo sobre as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$ , utilizou-se a análise multivariada por meio da técnica da análise dos componentes principais (ACP), apresentada por meio dos gráficos biplot (KROONENBERG, 1997). Os gráficos biplot foram preparados considerando os dois primeiros componentes principais com as maiores variâncias e os autovalores maiores que 1,0 (MORAAGUILERA et al., 1993). Além disso, a importância dos fatores de variação foi avaliada por meio da quantidade de variação explicada por cada um deles em

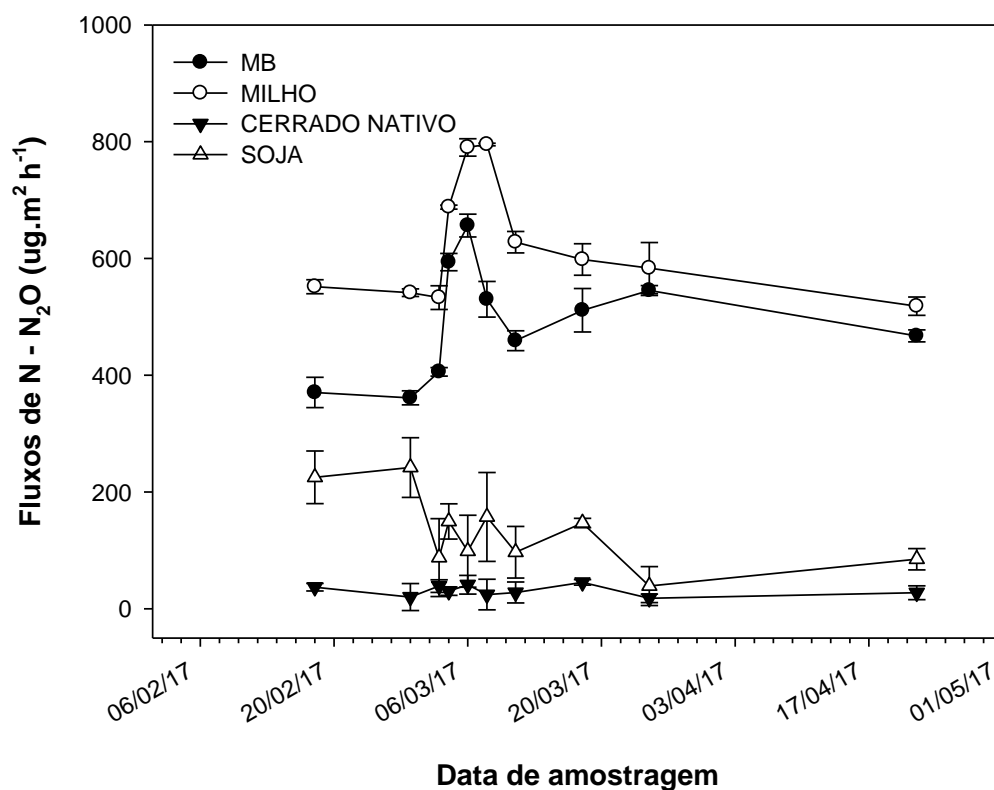
relação à variação total. A APC e o gráfico BIPLLOT foram preparados com 'Biplot and Singular Value Decomposition Macros for Excel<sup>®</sup>' (LIPKOVICH & SMITH, 2002). realizou-se também análise de correlação de Pearson para constatar as possíveis correlações entre essas variáveis.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os maiores fluxos de N<sub>2</sub>O ocorreram nos cultivos de plantas monocotiledôneas; no sistema de MI o fluxo médio foi de 622,77 μg N-N<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, maior emissão entre todos os tratamentos, seguido pelo consórcio de MB em que o fluxo foi de 490,09 μg N-N<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. Os valores elevados de emissão nos sistemas com milho em relação aos demais tratamentos, são justificados pela realização da adubação nitrogenada de cobertura. De acordo com Carvalho et al. (2006) esse aumento de fluxo é explicado pela rápida ação da urease e através de um ligeiro aumento do amônio para desnitrificação, sob condições de anaerobiose. Em condições de Cerrado, sob um Latossolo conduzido em sistemas integrados (iLPF e iLP), Carvalho et al. (2017) observaram correlação positiva entre os teores de amônio e nitrato do solo com os aumentos dos fluxos de N<sub>2</sub>O. O cultivo de soja apresentou fluxo médio de 122,53 μg N-N<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, valor reduzido em relação aos outros cultivos (Figura 1), o que é justificado pela ausência de adubação nitrogenada, devido a fixação biológica de nitrogênio (FBN), que é capaz de suprir as necessidades de N, evitando totalmente a adubação nitrogenada em condições de cultivo, e reduzindo os fluxos de N<sub>2</sub>O (Cantarella, 2007). O Cerrado nativo atuou como um sistema de referência, e apresentou fluxo médio de 31,02 μg N-N<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> indicando baixa emissão em relação aos sistemas cultivados.

A evolução dos fluxos para o período monitorado e os fluxos médios obtidos em cada amostragem são apresentados na Figura 3. Nos sistemas com cultivo de milho são observados picos de fluxo de N<sub>2</sub>O, entre os dias 06/03 e 08/03, oriundos da adubação nitrogenada realizada em 04/03/2017. Carvalho et al., (2017) também observaram ocorrência de picos de emissão de N<sub>2</sub>O logo após a adubação nitrogenada, considerando que 50% dos fluxos observados durante o experimento ocorreram no período de aplicação dos fertilizantes. Martins et al., (2015), avaliando fontes de adubação nitrogenada em cultivo de milho no Cerrado, não observaram o pico de emissão de N<sub>2</sub>O logo após a aplicação de adubação nitrogenada e sim 36 dias após a adubação, devido a ocorrência de um evento chuvoso. Os autores enfatizam ainda que a baixa emissão logo após a adubação é justificada pela baixa umidade do solo, pela falta de chuva. Aproximadamente 50% de todo nitrogênio aplicado na produção agrícola, não é assimilada pelas plantas, ocorrendo perdas por volatilização, escoamento superficial, lixiviação e pelos processos de nitrificação e desnitrificação, aumentando as emissões de N<sub>2</sub>O (Gaihre et al. 2015). A cultura da soja, apresentou valores iniciais altos nas primeiras avaliações e estabilização

dos fluxos de  $N_2O$  nas amostragens posteriores. Durante o período de avaliação o Cerrado nativo emitiu fluxos constantes, próximos a zero. Carvalho et al. (2014) mencionam que os baixos fluxos sob Cerrado estão associados com o baixo conteúdo de N mineral e rápida drenagem da água, não oferecendo condições favoráveis aos altos fluxos de  $N_2O$ .

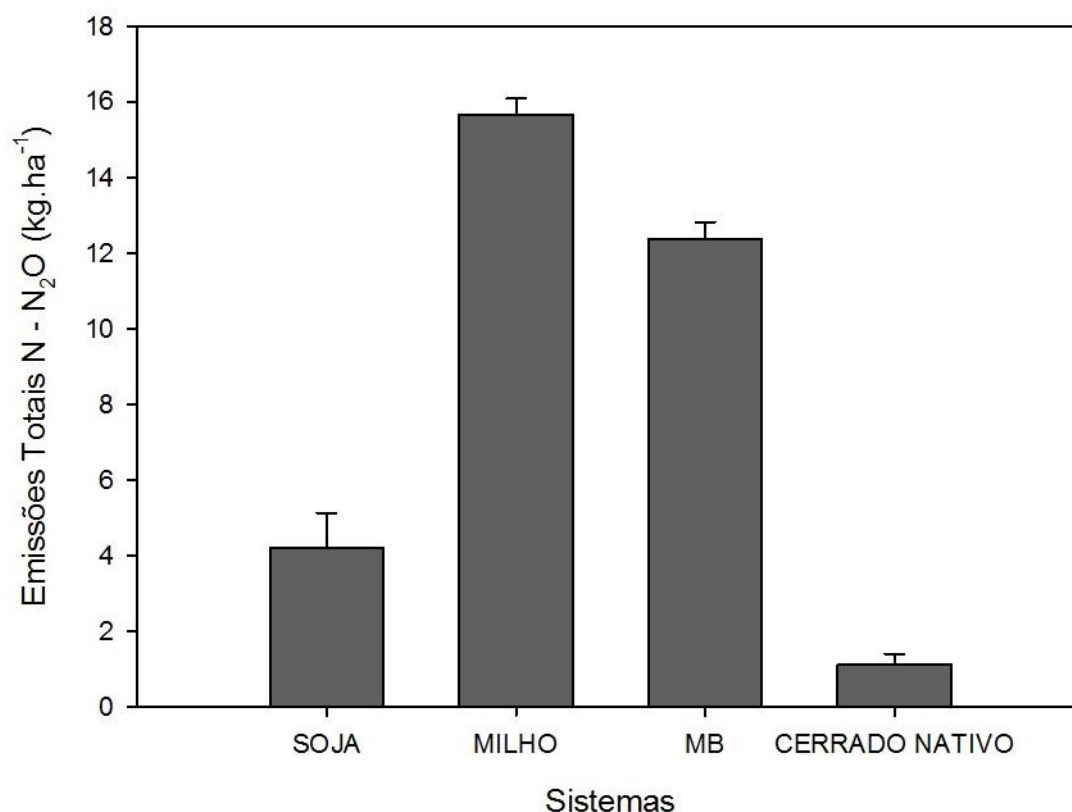


**Figura 1.** Evolução dos fluxos de  $N_2O$  durante o desenvolvimento de culturas agrícolas em sistema de plantio direto no município de Bom Jesus, PI. MB=consórcio de milho e braquiária.

Para as emissões totais, calculadas para todo o período avaliado, o menor fluxo total ocorreu no Cerrado nativo, com  $1,1 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $N-N_2O$  e a maior emissão ocorreu no cultivo de milho, com  $15,7 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $N-N_2O$  (Figura 2). Assim, há notório incremento nos fluxos de  $N_2O$ , na cultura do milho e consórcio de milho e braquiária, os quais são justificados pela adubação nitrogenada aplicada nessas culturas. Meurer et al., (2016) relata valores de  $1,19 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para Cerrado nativo valores mais baixos ( $-0,05 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) são descritos por Carvalho et al. (2017) e justificados pelos baixos níveis de N mineral, alta porosidade e falta de umidade no solo, não oferecendo condições favoráveis para altas emissões de  $N_2O$ .

Na cultura da soja verifica-se fluxos relativamente menores, devido sua fonte de N, ser a FBN, onde se tem emissão direta menor comparada a adubação nitrogenada.

Os fluxos de  $N_2O$  podem ser explicados por algumas variáveis como granulometria do solo (Sotta et al., 2008) que exerce influência sobre a umidade do solo, aplicação de fertilizantes nitrogenados (Rochette et al., (2014) e tipo de cultura (Subbarão et al. (2013) as quais influenciam de forma direta sobre a emissão do gás  $N_2O$  para a atmosfera. Corrêa et al. (2016) afirmam que os principais fatores que podem influenciar esses fluxos de  $N_2O$  são os edafoclimáticos, as interferências antrópicas (especialmente o revolvimento do solo), e as adubações nitrogenadas.



**Figura 2.** Emissões totais de N- $N_2O$  nos sistemas período avaliado no município de Bom Jesus, PI. MB=consórcio de milho e braquiária.

As concentrações de  $NH_4^+$  e  $NO_3^-$  no solo foram diferentes entre as culturas avaliadas. Os dois tratamentos com milho apresentaram as maiores concentrações de  $NH_4^+$  e  $NO_3^-$ , já a cultura da soja apresentou valores de  $NH_4^+$  e  $NO_3^-$  semelhantes ao Cerrado nativo (Tabela 2). A maior concentração nos tratamentos com milho ocorreu devido as adubações nitrogenadas, que promoveu aumento das concentrações do N no solo. Quanto aos teores de Nt e COT, e os valores de pH do solo, não houve diferença significativa entre os cultivos agrícolas, porém diferiram do Cerrado nativo (Tabela 2).

**Tabela 2.** Atributos químicos do solo avaliados durante o período de monitoramento das emissões de N<sub>2</sub>O no município de Bom Jesus, PI.

Sistemas	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nt	COT	pH <sub>(água)</sub>
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----			dag kg <sup>-1</sup>	
SO	16,8b <sup>1</sup>	10,4b	0,08b	1,48b	6,00a
MI	25,6a	24,1a	0,07b	1,45b	5,77a
MB	23,3a	23,1a	0,07b	1,45b	5,93a
CN	16,8b	10,1b	0,09a	1,82a	4,63b

<sup>1</sup>Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre tratamentos pelo teste SNK com p<0,05. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: Amônio; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitrato; COT: carbono orgânico total; NT: nitrogênio total; pH: potencial hidrogeniônico; SO: Soja; MI: Milho; MB: Consórcio milho e braquiária; CN: Cerrado nativo;

O espaço poroso preenchido por água (EPPA) do solo não apresentou diferenças entre os cultivos agrícolas diferindo apenas do Cerrado nativo, que apresentou menor valor para esse atributo (Tabela 3). Bateman e Baggs (2005) afirmam que o EPPA do solo acima de 60% dificulta a difusão de O<sub>2</sub> favorecendo a formação de ambientes anaeróbicos ideais para a desnitrificação. A quantidade de microporos (Mi) pode influenciar o EPPA através de alta umidade, gerando condições redutoras e ocasionando aumento das emissões de N<sub>2</sub>O dos solos (Drury et al. (2004). Os fluxos de N<sub>2</sub>O variam de acordo com a granulometria do solo, em que, a textura argilosa favorece a ocorrência de maiores fluxos devido a maior quantidade de água retida. Já, em solos arenosos as emissões são menores, devido a maior capacidade de drenagem. (Sotta et al. 2008).

A densidade e porosidade do solo apresentaram diferenças entre os tratamentos (Tabela 3). Alguns atributos físicos do solo são bastantes variáveis e isso ocorre diretamente através das condições de manejo imposta e os sistemas de cultivos implantados; onde podem ser afetados por fatores como distribuição de poros, teor de água disponível e infiltração, em que afeta diretamente a dinâmica dos fluxos de gases do solo.

A temperatura do ar não apresentou diferença significativa em relação aos sistemas de cultivo e o sistema de referência, entretanto, a temperatura do solo diferiu entre tratamentos (Tabela 3). De acordo com Haney et al. (2004), a temperatura do solo é sempre menor em relação ao ambiente, sendo um dos fatores que mais influencia a emissão de N<sub>2</sub>O, pois afeta diretamente a atividade dos microrganismos, interferindo na mineralização do material orgânico, favorecendo maiores emissões dos gases do solo.

**Tabela 3.** Atributos físicos do solo na camada 0-10 cm e temperatura do ar (TA) avaliados durante o período de monitoramento das emissões de N<sub>2</sub>O na área experimental, localizada no município de Bom Jesus, PI.

Tratamentos	EPPA	TA	TS	Ds	PT	Ma	Mi
	%	-----°C-----		kg dm <sup>-3</sup>	-----g cm <sup>-3</sup> -----		
SO	0,70a	24,1b	24,5b	1,54a	0,36c	0,14c	0,24b
Mi	0,71a	25,4a	23,8c	1,45b	0,37c	0,12d	0,25a
MB	0,69a	25,7a	24,7ab	1,32c	0,38b	0,17a	0,21c
CN	0,57b	26,3a	25,0a	1,54a	0,45a	0,21a	0,24b

<sup>1</sup>Letras diferentes entre tratamentos indicam diferenças significativas pelo teste SNK com p<0,05. EPPA: espaço poroso preenchido por água; TS: temperatura do solo; Ds: densidade do solo; Pt: Porosidade Total; Ma: Macroporosidade; Mi: Microporosidade. SO: Soja; MI: Milho; MB: Consórcio milho e braquiária; CN: Cerrado nativo;

**Tabela 4.** Correlação de Pearson entre os atributos físicos e químicos do solo e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).

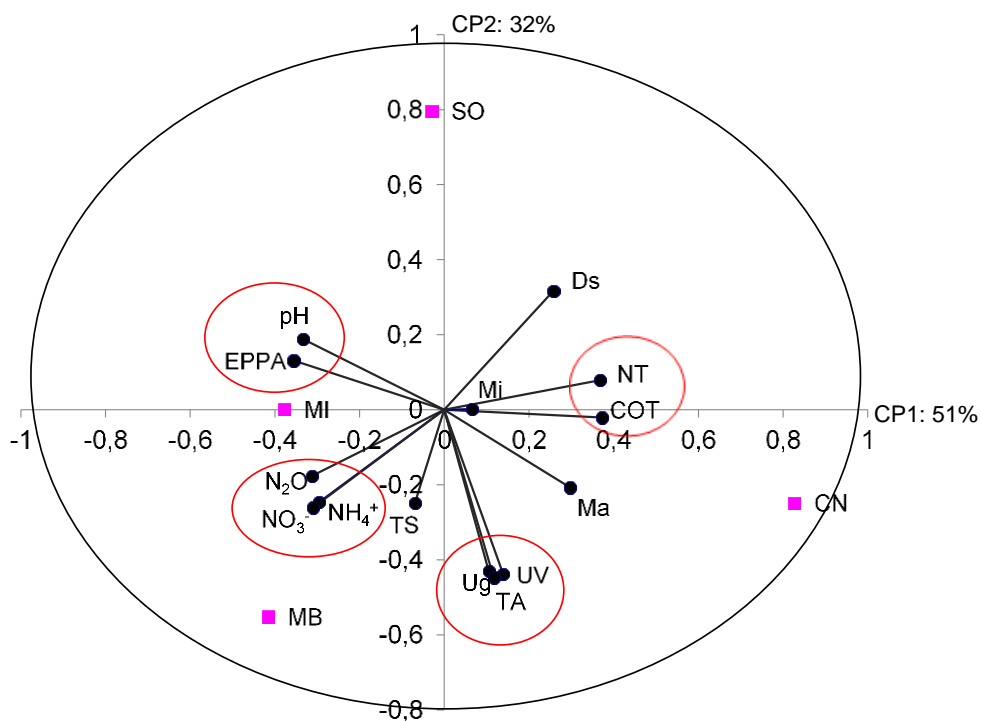
	NH4	NO3	COT	EPPA	pH	TA	TS	Ds	PT	Ma	Mi	NT	Ug	UV
N <sub>2</sub> O	0,854	0,791	-0,516	0,172	0,216	-0,002	-0,168	-0,426	-0,467	-0,573	0,129	-0,409	0,330	0,332
	<,0001	<,0001	0,0006	0,2886	0,1817	0,9910	0,3001	0,0061	0,0024	0,0001	0,4327	0,0097	0,0375	0,0361

COT: carbono orgânico total; Ds: densidade do solo; EPPA: espaço poroso preenchido por água; Ma: macroporos; Mi: microporos N<sub>2</sub>O: óxido nitroso; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: amônio; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitrato; NT: nitrogênio total; pH: potencial hidrogeniônico; PT: porosidade total; TA: temperatura do ar; TS: temperatura do solo; UG: umidade gravimétrica; UV: umidade volumétrica.

A análise de componentes principais (ACP) relaciona alguns atributos físicos e químicos do solo com o fluxo de N<sub>2</sub>O para as culturas agrícolas e Cerrado nativo. A ACP explicou 83% da variação total dos dados, com 51% explicado pelo componente principal 1 e 32 % pelo segundo componente (Figura 3). Os atributos do solo ao longo da componente principal 1 responsáveis pela explicação dos resultados foram: NT, COT, EPPA, pH, N<sub>2</sub>O, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Já os atributos que mais explicam o componente principal 2 foram Ug, Uv, TA e Ds. Os tratamentos milho + braquiária (MB) e Cerrado nativo (CN) são explicados pelo componente principal 1 e 2. Já os tratamentos soja (SO) é explicado pelo componente principal 2 e o tratamento milho (MI) pelo componente principal 1. As variáveis que mais explicam a emissão de N<sub>2</sub>O são NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, as quais apresentaram também correlação positiva significativa com o N<sub>2</sub>O (Tabela 4). Além disso, na ACP, observa-se maior relação da variável N<sub>2</sub>O com os tratamentos MI e MB, e oposição desta com o CN, o que foi observado também na figura 1 e tabela 2. Este resultado está relacionado com a suplementação de N nos sistemas de cultivo agrícola com milho, em relação ao Cerrado nativo. Carvalho et al. (2017) também observaram correlação positiva

significativa de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  com  $\text{N}_2\text{O}$  para um Latossolo do Cerrado, conduzido em sistemas integrados em que utilizou-se adubação nitrogenada.

COT e Nt demonstraram pouca relação com  $\text{N}_2\text{O}$ , conforme observa-se na ACP e na análise de correlação de Pearson, cuja correlação foi negativa. Umidade gravimétrica e volumétrica apresentaram correlação positiva significativa em relação ao  $\text{N}_2\text{O}$  (Tabela 4), indicando aumento das emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  com o aumento da umidade do solo.



**Figura 3.** Análise de Componentes Principais (ACP) para  $\text{N}_2\text{O}$ , atributos físicos e químicos do solo em cultivos agrícolas sob plantio direto. MI: milho; MB: milho cultivado com Braquiaria (sistema santa fé); SO: Soja; CN: Cerrado Nativo; COT: carbono orgânico total; EPPA: espaço poroso preenchido por água;  $\text{NH}_4^+$ : amônio;  $\text{NO}_3^-$ : nitrato; NT: nitrogênio total; pH: potencial hidrogeniônico; TA: temperatura do ar; UG: umidade gravimétrica; UV: umidade volumétrica.



#### **4. CONCLUSÃO**

Os sistemas que apresentaram o maior fluxo de  $N_2O$  foram Milho e Consórcio Milho e Braquiária, e os menores fluxos ocorreram nos tratamentos de Soja e Cerrado nativo.

Dos cultivos agrícolas a soja foi a cultura que menos emitiu  $N_2O$ , com valores muito próximo aos valores de cerrado, devido a ausência de adubação nitrogenada.

Os maiores fluxos de  $N_2O$  apresentaram correlação com o nitrato e amônio disponíveis no solo, através do manejo da adubação nitrogenada nos sistemas de plantas monocotiledoneas.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, W.F.; Beute, M.K.; Wynne, J.C.; Wongkaew, S. Statistical procedures for assessment of resistance in a multiple foliar disease complex of peanut. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 80, p. 1451-1459, 1990.

BARBOSA PRAGANA, Rossanna et al. Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, 2012.

BATEMAN, E. J.; BAGGS, E. M. Contributions of nitrification and denitrification to N<sub>2</sub>O emissions from soils at different water-filled pore space. **Biology and fertility of soils**, v. 41, n. 6, p. 379-388, 2005.

BUSTAMANTE, M. M. C.; Nardoto, G. B.; Pinto, A. S.; Resende, J. C. F.; Takahashi, F. S. C.; Vieira, L. C. G. Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado Ecosystems. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, p. 655-671, 2012.

CANTARELLA, Heitor et al. Nitrogênio. **Fertilidade do solo**, v. 2, p. 375-470, 2007.

CARVALHO, A. M. et al. Emissões de NO e N<sub>2</sub>O associadas à aplicação de uréia sob plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 679-685, 2006.

CARVALHO, João Luís Nunes et al. Crop-pasture rotation: a strategy to reduce soil greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 183, p. 167-175, 2014.

CLAESSEN, Marie EC. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E)**, 1997.

CORRÊA RS, Madari BE, Carvalho GD, Costa AR, Pereira ACC, Medeiros JC. (2016). Fluxos de óxido nitroso e suas relações com atributos físicos e químicos do solo. **Pesq. Agrop. Bras**, 2016;51:1148-1155.

DE CARVALHO, João Paulo Andrade F.; VAN ELK, Ana Ghislane H. Pereira; ROMANEL, Celso. Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Campus Gávea da PUC-Rio. **Eng Sanit Ambient**, v. 22, n. 3, p. 591-595, 2017.

DHAKAL B, Scanlan J. Assessment of functional forms of crop yield loss models of invasive plant species applied in decision support tools and bioeconomic modelling. **Agricultural Systems**, 2015;138:100-115.

DRURY, C.F.; Yang, X.M.; Reynolds, W.D.; Tan, C.S. Influence of crop rotation and aggregate size on carbon dioxide production and denitrification. **Soil and Tillage Research**, v.79, p.87-100, 2004. DOI: 10.1016/j.still.2004.03.020.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Manual de métodos e análise de solo. Rio de Janeiro: **EMBRAPA, SNLCS**, 2º edição, 1997. 221 p.

GABRIEL, K.R. The Biplots graphic display of matrices with application to principal component analysis. **Biometrika, London**, v. 58, p. 453-467, 1971.

GAIHRE, Yam Kanta et al. Impacts of urea deep placement on nitrous oxide and nitric oxide emissions from rice fields in Bangladesh. **Geoderma**, v. 259, p. 370-379, 2015.

HAN, Zhen; Walter, M. Todd; Drinkwater, Laurie E. N<sub>2</sub>O emissions from grain cropping systems: a meta-analysis of the impacts of fertilizer-based and ecologically-based nutrient management strategies. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 107, n. 3, p. 335-355, 2017.

HANEY, R.L.; Franzluebbers, A.J.; Porter, E.B.; Hons, F.M.; Zuberer, D.A. Soil carbon and nitrogen mineralization: influence of drying temperature. **Soil Science Society of America Journal**, v.68, p.489-492, 2004. DOI: 10.2136/sssaj2004.0489.

HUTCHINSON, G. L.; MOSIER, A. R. Improved Soil Cover Method for Field Measurement of Nitrous Oxide Fluxes 1. **Soil Science Society of America Journal**, v. 45, n. 2, p. 311-316, 1981.

Intergovernmental Panel on Climate Change (**IPCC**) (2007), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis—Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by S. Solomon et al., Cambridge Univ. Press, New York.

JENSEN ES, Peoples MB, Boddey RM, Gresshoff PM, Hauggaard-Nielsen H, Alves BJ, Morrison MJ. Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, 2012;32:329-364.

J.G. Emissões de óxido nitroso e metano do solo em áreas de recuperação de pastagens na Amazônia matogrossense. **Química Nova**, v.38, p.937-943, 2015. DOI: 10.5935/0100-4042.20150109.

LESSA, Ana Carolina R. et al. Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 104-111, 2014.

KROONENBERG, P.M. Introduction to biplots for GxE tables. 1997. Disponível em <http://www.fsw.leidenuniv.nl/~kroonenb/document/biplot.zip>. Acesso em: 23 mar. 2018.

LIPKOVICH, I.; SMITH E.P. “Biplot and Singular Value Decomposition Macros for Excel©.” **Journal of Statistical Software**, [s.1], v.7, p.1-15, 2002. Disponível em: <http://www.jstatsoft.org/v07/i05>. Acesso em: 12 fev.2018.

MARTINS, Marcio R. et al. Nitrous oxide and ammonia emissions from N fertilization of maize crop under no-till in a Cerrado soil. **Soil and Tillage Research**, v. 151, p. 75-81, 2015.

METAY, A., Oliver, R., Scopel, E., Douzet, J-M., Moreira, J.A.A., Maraux, F., Feigl, B.J., Feller, Ch. N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions from soils under conventional and no-till management practices in Goiânia (Cerrados, Brazil). **Geoderma**, v. 141, p. 78-88, 2007. doi: 10.1016/2007.05.010.

MEURER, K.H.E.; Franko U.; Stsng C.F.; Dalla Rosa J.; Madari B.E; Jungkunst H.F. Direct nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) fluxes from soils under different land use in Brazil - a critical review. **Environ. Res. Lett.** 11, 2016.

MORAAGUILERA, G.; Nietoangel, D.; Teliz, D.; Campbell, C.L. Development of a prediction model for papaya ringspot in veracruz, Mexico. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 77, p. 1205-1211, 1993.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 1996. 340p.

ROCHETTE, P. et al. Ammonia volatilization and nitrogen retention: how deep to incorporate urea, **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 42, n. 6, p. 1635-1642, Nov. 2013.

SIGNOR, Diana; CERRI, Carlos Eduardo Pellegrino. Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 3, p. 322-338, 2013.

SOTTA, E.D., Corre, M.D., Veldkamp, E., 2008. Differing N status and N retention processes of soils under old-growth lowland forest in Eastern Amazonia, Caxiuana, Brazil. **Soil Biology and Biochemistry** 40, 740–750.

SOUZA, Viviane Figueiredo; PRAST, Alex Enrich. Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) em ambientes aquáticos continentais: produção, fatores reguladores e fluxos de diferentes ambientes. **Oecologia Australis**, v. 16, n. 2, p. 311-329, 2012.

SUBBARÃO, G.V.; Rao, I.M.; Nakahara, K.; Ando, Y.; Sahrawat, K.L.; Tesfamariam, T.; Lata, J.C.; Boudsocq, S.; Miles, J.W.; Ishitani, M.; Peters, M. Nitrogen management

in grasslands and forage-based production systems – role of biological nitrification inhibition (BNI). **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v.1, p.168-174, 2013. DOI: 10.17138/TGFT(1)168-174.

VENTEREA, Rodney T.; Dolan, Michael S.; Ochsner, Tyson E. Urea decreases nitrous oxide emissions compared with anhydrous ammonia in a Minnesota corn cropping system. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, n. 2, p. 407-418, 2010.

ZANATTA, J.A. Emissão de óxido nitroso afetada por sistemas de manejo do solo e fontes de nitrogênio. 2009. 79 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 2009.