



**GAEL SILVIA PEÑARANDA LIENDO DA SILVA**

**“Fatores de emissões de óxidos nitrosos decorrente da  
aplicação de vinhaça no cultivo de cana de açúcar”**

**CAMPINAS**

**2014**





UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA

**GAEL SILVIA PEÑARANDA LIENDO DA SILVA**

**“Fatores de emissões de óxidos nitrosos decorrente da aplicação de  
vinhaça no cultivo de cana de açúcar”**

Dissertação de Mestrado apresentada  
à Faculdade de Engenharia Química  
da Universidade Estadual de  
Campinas, como parte dos requisitos  
exigidos para obtenção do título de  
Mestra em Engenharia Química

Orientador: Prof. Dr. EDSON TOMAZ

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL  
DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA  
QUÍMICA, DEFENDIDA PELA ALUNA GAEL SILVIA  
PEÑARANDA LIENDO DA SILVA E ORIENTADO PELO  
PROF. DR. EDSON TOMAZ.

  
Prof. Dr. Edson Tomaz (Orientador)

**CAMPINAS  
2014**

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura  
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

Si38f

Silva, Gael Silvia da Peñaranda Liendo, 1977-

Fatores de emissões de óxidos nitrosos decorrente da aplicação de vinhaça no cultivo de cana de açúcar

/ Gael Silvia Peñaranda Liendo da Silva. – Campinas, SP : [s.n.], 2014.

Orientador: Edson Tomaz.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química.

1. Cana de açúcar. 2. Oxido nitroso. 3. Vinhaça. I. Tomaz Edson, 1963-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Química. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Nitrous oxides emissions factors resulting from vinasse application in sugarcane cultivation

**Palavras-chave em inglês:**

Sugarcane

Nitrous oxide

Vinasse

**Área de concentração:** Engenharia de Processos

**Titulação:** Mestra em Engenharia Química

**Banca examinadora:**

Edson Tomaz [Orientador]

Bruno José Rodrigues Alves

Cássio Hamilton Abreu Junior

**Data de defesa:** 05-12-2014

**Programa de Pós-Graduação:** Engenharia Química

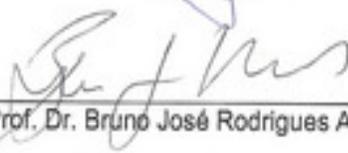
**Folha de aprovação**

Dissertação de Mestrado defendida por:

GAEL SILVIA PEÑARANDA LIENDO DA SILVA e aprovada em 05 de dezembro de 2014 pela banca examinadora constituída pelos doutores:



Prof. Dr. Edson Tomaz (Orientador)



Prof. Dr. Bruno José Rodrigues Alves (titular)



Prof. Dr. Cássio Hamilton Abreu Junior (titular)

**Observação :** Nome completo dos membros da banca examinadora, sendo para o mestrado o orientador e dois titulares, e para o Doutorado, o orientador e quatro titulares.



## RESUMO

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, gerando 671,71 milhões de toneladas por ano, estimados pela Companhia Nacional de Abastecimento– CONAB (Safrá 2014/2015). É o 2º produtor mundial de etanol, sendo responsável por 20% da produção mundial e 20% das exportações mundiais, o que foi motivado pela expansão das áreas cultivadas e a maior utilização de fertilizantes, entre os quais, o emprego de fertilizantes nitrogenados para aumentar a produtividade. Atualmente, procura-se reduzir as emissões dos gases de efeito estufa (GEE) causadores do aquecimento global, o que justifica o atual esforço internacional na substituição dos combustíveis fósseis por fontes de energia limpa, como o etanol da cana-de-açúcar.

Não obstante, o uso de fertilizantes (vinhaça e ureia) é necessário para a produção de etanol de cana, os quais significam aumento na emissão de GEE do sistema, especialmente do óxido nítrico. O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2006) apontou que cerca de 1% do fertilizante nitrogenado utilizado em plantações seria emitida à atmosfera na forma de óxido nítrico, mas os fatores propostos parecem ser elevados para condição tropical.

A realização deste trabalho teve como objetivo estimar os fatores de emissão do óxido nítrico num canavial a partir do período que vai do plantio a colheita da cultura de cana-de-açúcar, onde foram aplicados fertilizantes como a ureia e resíduos orgânicos como a vinhaça. O experimento foi instalado em cana de primeira soca, executado na fazenda Areão da ESALQ-USP, em Piracicaba – SP, em delineamento em blocos ao acaso com 5 tratamentos (T<sub>1</sub>:Vinhaça *in natura*, T<sub>2</sub>:Vinhaça+ ureia, T<sub>3</sub>:Vinhaça concentrada, T<sub>4</sub>:Ureia e T<sub>5</sub>:Testemunha) e 6 repetições.

Câmaras estáticas foram instaladas nas parcelas para monitoramento do óxido nítrico (N<sub>2</sub>O), sendo realizadas coletas de gases nas câmaras no período de dezembro de 2012 a novembro de 2013. Observou-se maiores fluxos nos 3 primeiros meses após aplicação dos tratamentos para os que receberam vinhaça e N-fertilizante. Os maiores fluxos foram associados à adição de ureia, provavelmente em função da dose de nitrogênio aplicada. No entanto, o fator de emissão do fertilizante (ureia) ficou em 0,18 %, menor do que estimado pelo IPCC. Quando a vinhaça foi aplicada junto com o fertilizante, e com grande quantidade de palha no solo, o fator

de emissão chegou a 0,14%. Todavia, o uso da vinhaça concentrada mostrou-se como uma alternativa menos sustentável com um fator de emissão de 0,59 %.

Observando em maior detalhe os efeitos na emissão de  $N_2O$  pela aplicação da vinhaça e fertilizante nitrogenado, houve influência significativa de parâmetros do solo ( $NO_3$ , C solúvel e umidade).

Palavras- chave: Cana de açúcar, Fertilizante, Gás de efeito estufa, Vinhaça.

## ABSTRACT

Brazil is the biggest producer of sugar cane in the world, generating 671.71 million tons per year, estimation by the National Society of Supply - CONAB (2014/2015 Harvest). The country is the 2nd biggest producer of ethanol, accounting for 20% of world production and 20% of world exports, this was driven by the expansion of cultivated areas and the increased use of fertilizers, among them, the use of nitrogen fertilizers. Currently, there are attempts to reduce emissions of greenhouse gases (GHG) that cause global warming, which explains the current international effort to replace fossil fuels by clean energy sources such as the ethanol from cane sugar. However, the use of fertilizers such as urea and vinasse is required for the production of sugar cane ethanol, which means increased GHG system emission, especially nitrous oxide. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006) found out that about 1% of the nitrogen fertilizer used in plantations is emitted to the atmosphere as nitrous oxide, but the proposed factors appear to be higher for tropical condition. This article aimed to estimate the emission factors of nitrous oxide from a cane crop, from the planting to the harvest, where urea and organic waste such as vinasse were applied. The experiment was carried out using cane first leaf, it took place at Areão farm ESALQ-USP, in Piracicaba - SP, in randomized blocks using 5 different treatments (T<sub>1</sub>: Vinasse *in natura*, T<sub>2</sub>: Vinasse + urea, T<sub>3</sub>: Concentrated vinasse, T<sub>4</sub>: Urea and T<sub>5</sub>: Witness) and 6 replications. Static cameras were installed in the parcels for monitoring the nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) gas collections were held in the chambers from December 2012 to November 2013. There were greater flows in the first 3 months after the application of vinasse and N fertilizer. The largest flows were associated with the addition of urea, probably because of the applied nitrogen rate. However, the fertilizer emission factor (urea) was 0.18%, lower than the estimated by the IPCC. When vinasse was applied with fertilizer, using a big amount of straw in the soil, the emission factor reached 0.14%. However, the use of concentrated vinasse proved to be a less sustainable alternative with a 0.59% emission factor.

Observing more deeply the effects of N<sub>2</sub>O emissions, by the application of vinasse and nitrogen fertilizer, a significant influence on soil parameters was shown (NO<sub>3</sub>, C soluble and humidity).

Key words: Sugarcane, fertilizer, greenhouse gas, Vinasse.



## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. Objetivo Geral.....	3
1.2. Objetivos Específicos.....	3
<b>CAPÍTULO 2. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	4
2.1. Emissões de gases efeito estufa GEE .....	4
2.1.1 Marco Conceitual .....	4
2.1.2 Gases de Efeito estufa no Brasil .....	4
2.1.3 Óxido nitroso .....	5
2.1.4 Processos de Nitrificação e Desnitrificação.....	6
2.1.4.1 Nitrificação .....	6
2.1.4.2 Desnitrificação .....	7
2.2. Vinhaça .....	8
2.2.1 Características Químicas da Vinhaça .....	9
2.2.2 Efeitos da vinhaça nas propriedades dos solos .....	11
2.2.3 Efeitos da vinhaça na produtividade de cana .....	12
2.2.4 Efeitos da vinhaça na cana-de-açúcar .....	12
2.2.5 A vinhaça e o meio ambiente .....	13
<b>CAPÍTULO 3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	15
3.1. Caracterização de Solo, Clima local e Vinhaça .....	15
3.1.1 Localização .....	15
3.1.2 Condições climáticas do local .....	16
3.1.3 Caracterização do solo .....	16
3.1.4 Densidade .....	17

3.1.5 Caracterização da vinhaça .....	18
3.2 Materiais para as Amostragem e Quantificação das emissões de N <sub>2</sub> O.....	20
3.3. Delineamentos Experimentais .....	23
3.3.1 Determinação de N <sub>2</sub> O em suas formas de NH <sub>4</sub> e NO <sub>3</sub> / NO <sub>2</sub> .....	26
3.3.2 Determinação de Carbono solúvel .....	26
3.3.3 Determinação do índice de pH .....	26
3.3.4 Determinação de % umidade .....	26
3.4 Monitoramentos de chuvas e temperatura do ar .....	27
3.5. Análises Estatísticas .....	27
3.6. Estimativas dos fatores de emissão de N <sub>2</sub> O por tratamento .....	28
3.7. Fator de Emissão.....	28
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>29</b>
4.1. Emissões de N <sub>2</sub> O do solo.....	29
4.2. Variações de umidade e temperatura .....	36
4.3. Variações do índice do pH.....	38
4.4. Variações no N-disponível do solo.....	40
4.5. Variações no C-solúvel do solo. ....	44
4.6. Avaliações dos efeitos das variáveis de solo na emissão de N <sub>2</sub> O para atmosfera. ....	46
4.7. Fator de Emissão.....	46
4.8. Produtividade. ....	48
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>49</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>50</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>56</b>

## DEDICATÓRIA

Às pessoas que amo muito:

Meu filho querido Marco Antônio, ao meu marido Fábio, minha mãe, pai e minhas irmãs que foram o incentivo e inspiração para culminar o sonho científico.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos os excelentes profissionais e maravilhosas pessoas que tive o prazer de conhecer, fazendo-o de maneira muito especial a:

Ao meu orientador Prof. Dr. Edson Tomaz pela confiança, paciência, amizade e apoio contínuo no desenvolvimento da pesquisa.

Ao Dr. Bruno José Rodrigues Alves, pela imensa ajuda na transmissão de sua experiência e conhecimentos na área, e pela amizade.

A Universidade Estadual de Campinas, pela oportunidade de ser parte de seu Programa de Pós-graduação em Engenharia Química.

Ao Instituto Agrônomo Campinas, pela oportunidade de fazer uso de seus laboratórios para os análises químicos de solos. Agradeço em especial ao Dr. Ronaldo Severiano Berton.

A ESALQ/USP, pela área cedida para a montagem do experimento na Fazenda Areão, especialmente ao Prof. Dr. Luis Fernando Sanglade Marchiori.

Ao Dr. Pedro Freitas da EMBRAPA, pelo levantamento de perfil de solo que contribuiu na caracterização local do trabalho.

Ao Prof. Dr. José Ruy Porto de Carvalho da EMBRAPA, pela contribuição no desenvolvimento das análises de estatística.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, pela formação acadêmica.

A CAPES, pela bolsa fornecida para desenvolvimento do trabalho.

Aos colegas Felipe, Fernanda e Fernando Zuchello pela ajuda no campo e laboratório.

Aos amigos da UNICAMP, IAC, EMBRAPA AGROBIOLOGICA e técnicos da fazenda AREÃO que fizeram muito mais agradável os momentos de trabalho.

A minha família, especialmente ao tio Marco Antônio Azeredo que sempre me incentivou e torceu pelo meu sucesso.

A Deus, pela minha existência e me iluminar na caminhada.

Obrigada!

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Localização do ensaio na ESALQ no município de Piracicaba .....	17
<b>Figura 2:</b> Tipo do solo .....	18
<b>Figura 3:</b> Transporte de vinhaça para usar no experimento na Fazenda Areão, em Piracicaba–SP em registro em 12/2012.....	20
<b>Figura 4:</b> Detalhes de câmara estática inserida no solo.....	22
<b>Figura 5:</b> Detalhes da tampa da câmara estática revestida com manta adesiva .....	23
<b>Figura 6:</b> Detalhes das câmaras estáticas fechadas. ....	23
<b>Figura 7:</b> Amostradores (seringas) para coleta de gases de N <sub>2</sub> O na câmara estatica. ....	24
<b>Figura 8:</b> Coletas do ar de câmara estática com as seringas.....	25
<b>Figura 9:</b> Esquema com a distribuição dos tratamentos experimentais. ....	26
<b>Figura 10:</b> Montagem do experimento no primeiro dia (12/2012).....	27
<b>Figura 11:</b> Detalhes da área do experimento na Fazenda Areão, na época de colheita em registro no ultimo dia(11/2013).. ....	27
<b>Figura 12:</b> Fluxos de N <sub>2</sub> O do solo sob efeito de diferentes tratamentos registrados no período do mês de dezembro de 2012... ..	32
<b>Figura 13:</b> Fluxos de N <sub>2</sub> O do solo sob efeito de diferentes tratamentos registrados no período de dezembro de 2012 a novembro de 2013.....	33
<b>Figura 14:</b> Temperatura do ar e precipitação pluviométrica durante todo o período das amostragens de fluxos de N <sub>2</sub> O do solo.....	37
<b>Figura 15:</b> Proporção do espaço poroso saturado com água (EPSA %) ao longo do de fluxos de N <sub>2</sub> O do solo.....	39



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Composição química da vinhaça oriunda de diferentes matérias primas: Melão, caldo e misto de cana- de- açúcar. ....	11
<b>Tabela 2:</b> Resultado da caracterização granulométrica do solo... ..	19
<b>Tabela 3:</b> Resultados de análises das densidades das amostras coletadas nas trincheiras.....	19
<b>Tabela 4:</b> Caracterização da vinhaça <i>in natura</i> (1) e concentrada (2) utilizadas no experimento. ....	21
<b>Tabela 5:</b> Influência dos tratamentos nas emissões de óxido nitroso em: ( $\mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2}\text{h}^{-1}$ ) nas diferentes épocas, no teste de Tukey, a 5% de significância no teste F .....	35
<b>Tabela 6:</b> Teores de (%) de umidade do solo nas diferentes épocas.....	38
<b>Tabela 7:</b> Influência dos tratamentos nos teores de pH do solo nas diferentes épocas.....	41
<b>Tabela 8:</b> Influência dos tratamentos nos teores de nitrato ( $\text{N-NO}_3$ ) em (mg/kg) do solo nas diferentes épocas.....	43
<b>Tabela 9:</b> Influência dos tratamentos nos teores de amônia ( $\text{N-NH}_4$ ) em: (mg/kg) do solo, nas diferentes épocas, no teste de Tukey, a 5% de significância no teste F .....	45
<b>Tabela 10:</b> Influência dos tratamentos nos teores de carbono solúvel em: (mgC/kg solo seco), nas diferentes épocas, no teste de Tukey, a 5% de significância no teste F .....	47
<b>Tabela 11:</b> Fator de Emissão para cada tratamento .....	49
<b>Tabela 12:</b> Produtividade de colmos pela cana-de-açúcar submetida a diferentes tratamentos de fertilização nitrogenada e irrigação com vinhaça.....	50



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

<b>BNDES:</b>	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.
<b>CGEE:</b>	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.
<b>CETESB:</b>	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.
<b>CONAB:</b>	Companhia Nacional de Abastecimento.
<b>EMA:</b>	Estação Meteorológica Automática.
<b>EMBRAPA:</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
<b>ESALQ:</b>	Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz.”
<b>FE:</b>	Fator de Emissão: Ou fração de nitrogênio aplicado, emitido em forma de óxido nitroso (N <sub>2</sub> O).
<b>IBGE:</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
<b>IBRA:</b>	Instituto Brasileiro de Análises.
<b>IPCC:</b>	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas.
<b>MCTI:</b>	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.
<b>MMA:</b>	Ministério do Meio Ambiente.
<b>MAPA:</b>	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
<b>ÚNICA:</b>	União da Indústria da Cana-de-Açúcar.
<b>USDA:</b>	United States Department of Agriculture.



## CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

A busca de alternativas energéticas que possam reduzir a dependência pelos combustíveis fósseis, aliada à mitigação do efeito estufa do planeta, tem sido direcionada para o setor agrícola.

A biomassa vegetal, por significar fonte renovável de energia, pode ser manejada para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e para permitir o seqüestro de carbono no solo.(CERRI et al.,2014). Dentro deste contexto, a cana-de-açúcar vem se destacando por causa de seu rápido crescimento e produtividade, sendo cultivada em diversas regiões do país e em diversos tipos de solos.

A energia fóssil necessária para o crescimento da cultura até a produção de bioetanol é largamente compensada pela energia renovável produzida com o uso do biocombustível em substituição a gasolina, ou seja, o balanço de energia é positivo. No Brasil, os custos de energia fóssil são minimizados pelo uso do bagaço de cana para aquecimento de caldeiras no processo de produção do etanol, fazendo com que o balanço de energia de tais sistemas seja bem elevado, variando de 9 a 11 unidades de energia. (MACEDO, 2008; SOARES et al., 2009). Além disso, o excesso do bagaço tem contribuído para a geração de energia elétrica nas unidades agro-industriais.

As emissões de GEE geradas na fase de produção da cana-de-açúcar vêm sendo estimadas principalmente com a metodologia do (IPCC 1996; 2006ab), porém existem dúvidas se essa forma de cálculo do tipo *bottom-up* seria adequada, especialmente no que se refere as emissões de N<sub>2</sub>O.(CRUTZEN et al., 2009) realizaram uma análise *top-down* para estimar fatores de emissão de N<sub>2</sub>O para o N reativo originado do uso de fertilizantes nitrogenados e da fixação biológica de N<sub>2</sub> antrópica, e concluíram que os números encontrados colocavam em risco a eficiência de combustíveis alternativos na mitigação de GEE. Mais tarde, (SMITH et al., 2008) complementaram esse estudo e mostraram que mesmo o etanol da cana-de-açúcar, quando em substituição a gasolina, poderia ter seu potencial mitigador de GEE neutralizado por altas emissões de N<sub>2</sub>O por eles estimadas com os fatores de (CRUTZEN et al., 2009).

Numa tentativa de avaliar o potencial mitigador do etanol da cana-de-açúcar, (LISBOA et al.,2011) fizeram uma compilação de dados de estudos publicados sobre o assunto para propor um fator de emissão de N<sub>2</sub>O de estudos de campo, porém nenhum deles tinha sido conduzido no Brasil. Suas conclusões foram as de que mesmo utilizando um fator de emissão de N<sub>2</sub>O de

aproximadamente 3 %, três vezes aquele utilizado com a metodologia do (IPCC,2006), o etanol da cana-de-açúcar ainda seria um grande potencial mitigador de emissões de GEE. Por outro lado, destacaram a falta de informação sobre emissões de GEE associadas ao uso da vinhaça e outros resíduos usados no sistema de produção da cana-de-açúcar, os quais que poderiam contribuir para reduzir o potencial mitigador do bioetanol de cana.

A pesquisa nacional vem buscando levantar índices de emissão em condições tropicais, pois, tal como apontado no estudo de (SOARES et al.,2009), existem várias incertezas nos cálculos realizados, especialmente pela falta de informação sobre as emissões de metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) da vinhaça, resíduos e fertilizantes usados no manejo da cultura.

Os primeiros estudos de campo feitos no Brasil com a cultura da cana-de-açúcar manejada sem queima trazem números muito variados. No trabalho de (CARMO et al.,2013), observou-se que a perda de N como  $\text{N}_2\text{O}$  acima de 3% foi registrada apenas em áreas conduzidas com palhada ( $21 \text{ t ha}^{-1}$ ) e fertilizadas com N ( $120 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e vinhaça. Este estudo mostrou que a manutenção de quantidades crescentes de palhada aumentou o fator de emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  em função da fertilização nitrogenada, mas sem a palha, o fator foi de 0,56 %. Para a vinhaça, determinaram um fator de emissão de 2,99 % do N existente no resíduo. O maior fator de emissão para vinhaça estaria relacionado ao C existente na vinhaça, de alta labilidade, que estimularia a atividade de microrganismos desnitrificadores, levando a maiores emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  (PAREDES et al., 2014), de forma semelhante ao efeito da palhada, que também magnifica as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  de fertilizantes nitrogenados (VARGAS et al., 2014).

Outros estudos, como o de (SIGNOR et al., 2010) mostraram fatores de emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  variando com o tipo de fertilizante nitrogenado (0,5 a 12 %) assim como o de(OLIVEIRA et al., 2005) que encontraram fatores de emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  para vinhaça relativamente baixos (< 1%). (PAREDES et al.,2014), em estudo realizado no Rio de Janeiro, encontraram fatores de emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  de 0,4 % do N aplicado como ureia, e de 2,5 % do N aplicado como vinhaça. Esses autores levaram em conta seus números e também de trabalhos publicados no Brasil, e concluíram que aproximadamente 2 % do N existente na vinhaça converte-se a  $\text{N}_2\text{O}$ , porém com uma incerteza muito grande em função da grande variação nos resultados de pesquisa.

A cultura da cana-de-açúcar é conduzida em diversos ambientes no Brasil, concentrando-se em São Paulo. A ureia é um dos principais fertilizantes aplicados na cultura, e a vinhaça é um resíduo comumente aplicado para suprir água e potássio para a cultura. Devido a limitações de ordem econômica, em algumas usinas a vinhaça é distribuída e aplicada em sua forma concentrada, incluindo outra fonte de variação para a pesquisa sobre emissões de N<sub>2</sub>O.

A necessidade de levantar números consistentes e suficientes para bem representar a variedade de ambientes de produção de cana-de-açúcar, no que diz respeito a fatores de emissão de N<sub>2</sub>O, motivou a realização do presente estudo, cujas fontes estudadas foram a ureia e a vinhaça, tanto *in natura* quanto concentrada.

### **1.1 Objetivo Geral**

Quantificar as emissões de óxido nitroso induzidas pela adição de vinhaça *in natura* ou concentrada e de ureia em área cultivada com cana-de-açúcar em primeira soca.

### **1.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos da pesquisa são:

1.2.1 Determinar o fator de emissão do N<sub>2</sub>O do solo, devido à aplicação de vinhaça e ureia na cultura da cana-de-açúcar, em ciclo de cana soca.

1.2.2. Avaliar a relação de variáveis de solo e clima com as emissões de óxido nitroso induzidas pela aplicação de ureia e vinhaça.

## **CAPÍTULO 2. REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Emissões de gases efeito estufa GEE**

#### **2.1.1 Marco Conceitual**

É chamado de efeito estufa, o contínuo aumento da temperatura da terra devido à absorção de radiação infravermelha terrestre por alguns gases, tais como: óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), clorofluorcarbonos(CFC), entre outros. Estes gases são conhecidos como gases de efeito estufa (GEE). (IPCC, 2007).

#### **2.1.2 Gases de efeito estufa no Brasil**

De acordo com (IPCC, 2006a), as emissões de gases de efeito estufa (GEE) são medidas em termos de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub> e). Tal medida possibilita comparar diferentes GEE com base em seu potencial de contribuição para o efeito estufa, tendo como referência o CO<sub>2</sub>; o fator que define essa contribuição é chamado de “potencial de aquecimento global” (GWP, sigla em inglês).

No levantamento brasileiro sobre o inventário de GEE, tem-se que cerca de 75% das emissões de carbono são resultantes do desmatamento e queimadas (BRASIL, 2008), porém a redução das taxas de desmatamento registrada desde o ano 2005 contribuiu para a significativa redução dos totais emitidos no País segundo o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI, 2011). Os resultados comparativos de 2010 em relação a 2005 mostraram uma redução de emissões por desmatamento, o que fez com que o setor de agricultura passa a ter maior importância nas emissões em curso.

Nassar et al.(2008) ressaltam que o aumento dos efeitos ocasionados por esses GEE tem merecido destaque mundial, principalmente devido à redução do uso de combustíveis fósseis. Por meio da técnica de análise do ciclo de vida de todas as matérias-primas utilizadas no processo produtivo, com base nas emissões equivalentes de carbono, foi possível mensurar a contribuição dos bicombustíveis para sustentabilidade dos agrossistemas.

A produção da cultura de cana-de-açúcar não se utilizando da queima para colheita, promoveu uma mudança nos principais fatores causadores de emissão de GEE, o que recaiu sobre os fertilizantes nitrogenados e os resíduos agroindustriais. Estudos têm avaliado os impactos ocasionados pelo uso de fertilizantes nitrogenados. Seu uso causa conseqüências para o aumento da concentração de  $N_2O$  na atmosfera, uma vez que, chegando ao solo, o nitrogênio aplicado pode ser volatilizado ou lixiviado, ao mesmo tempo em que passa pelos processos de nitrificação e desnitrificação, de acordo com (ALVES et al., 2012).

Para Crutzen et al. (2008), 3 a 5 % do fertilizante nitrogenado aplicado em plantios bioenergéticos são emitidos para atmosfera em forma de  $N_2O$ . Por outro lado, estudos do IPCC (2006b) apontam para um valor de 1,33%, para a mesma atividade. (CRUTZEN et al.,2008) relacionaram o potencial de aquecimento global, em função da aplicação de nitrogênio nas culturas de milho e cana-de-açúcar, com o potencial de “resfriamento” global devido a substituição do combustível fóssil pelo biocombustível dessas culturas, sem considerar o ciclo de vida do produto.

### **2.1.3 Óxido Nitroso**

O óxido nitroso ( $N_2O$ ) apresenta uma vida útil na atmosfera estimada aproximadamente em 120 anos (IPCC, 2006), sendo um gás envolvido no processo de aquecimento global. É um gás estável na baixa atmosfera, porém participa nas reações fotoquímicas na estratosfera o que leva à destruição do ozônio. (CRUTZEN, 1970).

Procedendo-se uma avaliação do nível pré-industrial de 270 ppb e o incremento de 44 ppb de  $N_2O$  segundo o terceiro relatório sobre mudanças climáticas globais (IPCC, 2006b), gerou um forçamento radiativo de  $+0,15 \text{ W m}^{-2}$ , tornando esse gás como o terceiro maior forçamento depois do  $CO_2$  e do  $CH_4$ . Estudos de (KAISER et al.,1998), porém, já demonstram que a concentração atmosférica desse gás tem aumentado consideravelmente nas últimas décadas, e continua a aumentar anualmente a uma taxa de 0,25%.

#### 2.1.4 Processos de Nitrificação e Desnitrificação

A nitrificação e a desnitrificação são os processos que dão origem às emissões de  $N_2O$  do solo, porém são processos que funcionam em condição redox opostas. Por ser um processo aeróbio, solos bem drenados favorecem a nitrificação, enquanto solos saturados com água favorecem a desnitrificação. Porém, adequada disponibilidade de água e temperatura do solo são importantes para otimizar a nitrificação. (JANTALIA et al., 2006).

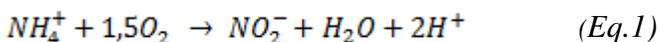
A disponibilidade de matéria orgânica no solo é essencial para a ocorrência do processo de desnitrificação. Muitos organismos podem desnitrificar, desde que ocorram condições anaeróbias no solo, sendo a temperatura do solo um fator de grande importância (SMITH et al., 2003).

##### 2.1.4.1 Nitrificação

O processo de nitrificação é a oxidação biológica de formas reduzidas de nitrogênio.

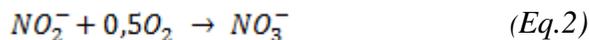
A nitrificação ocorre em duas etapas:

1<sup>ra</sup> etapa: O amônio é convertido em nitrito por bactérias do gênero *Nitrossomonas*, sendo as mais importantes para o processo. (CANTARELLA, 2007).



2<sup>da</sup> etapa: O nitrito é oxidado a nitrato, a través das bactérias do gênero *Nitrobacter*, de acordo com a (Eq.3). (CANTARELLA, 2007).

A primeira reação é muito rápida e dificilmente há acúmulo de nitrito no solo. Durante a nitrificação há liberação de  $H^+$ , contribuindo para a acidificação.



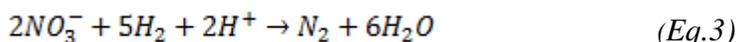
Embora as *Nitrossomonas* sejam mais ativas (FIRESTONE, 1982), pesquisas recentes mostradas por Addiscott,(2004) evidenciam, que bactérias do tipo *Nitrosospira* são mais numerosas em solos agrícolas.

*Nitrosomonas* e *Nitrosospira* são os principais gêneros que oxidam amônio a nitrito. *Nitrobacter* é o principal gênero responsável pela segunda etapa do processo, organismos esses favorecidos pelo pH acima de 5. O que é normal em solos agrícolas. Por ser um processo aeróbio, solos bem drenados favorecem a nitrificação, porem adequada disponibilidade de água e temperatura são importantes para otimizá-lo.

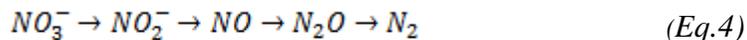
#### 2.1.4.2 Desnitrificação

Como última etapa no ciclo de nitrogênio, temos a desnitrificação, que é um processo respiratório que ocorre na ausência de O<sub>2</sub>, na qual óxidos de nitrogênio servem como receptores finais de elétrons.

A desnitrificação realizada por grande número de espécies de bactérias anaeróbias facultativas que na ausência de oxigênio, utilizam como acceptor de elétrons o nitrato (CANTARELLA, 2007). A equação geral da desnitrificação é a seguinte:



Essa reação consome prótons e alcaliniza o solo e ocorre através de reduções sucessivas do nitrogênio (N), até a formação de nitrogênio gasoso (N<sub>2</sub>), tendo o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) como intermediário.



Segundo Ruser et.al, (2006), a desnitrificação é favorecida em solos com mais de 70% dos poros ocupados por água.

## 2.2 Vinhaça

Quando se produz etanol por via fermentativa, a destilação do vinho gera um resíduo chamado de vinhaça, vinhoto ou restilo (GLORIA, 1976). Segundo Elias Neto e Nakahodo (1995), o nome “vinhaça” é utilizado indistintamente para resíduo da destilação de uma solução alcoólica, chamada vinho, obtida do processo de fermentação alcoólica. O vinho é o produto ou subproduto da fermentação alcoólica a partir de uma solução açucarada chamada mosto. Já o mosto pode ser obtido do suco de vários produtos agrícolas, como uva, outras frutas, cana de açúcar, beterraba, entre outros (GLORIA, 1976).

Na indústria canavieira, um produto resultante da destilação do vinho produzido do caldo fermentado da cana-de-açúcar no processo de fabricação do álcool, como já comentado, e também pode originar-se do subproduto da produção de açúcar, o melão, com o qual se produz também o mosto. (GLORIA, 1976; PENATTI, 2013). Para cada litro de álcool produzido são gerados entre 10 e 15 litros de vinhaça. (ELIAS NETO E NAKAHODO, 1995).

A preocupação quanto aos impactos ambientais da aplicação da vinhaça em solos canavieiros e a contínua mortandade de peixes como consequência da disposição da vinhaça nos rios gerou o Decreto-Lei Nº 303, de 28 de fevereiro de 1967, que proibiu definitivamente a disposição da vinhaça nos rios, lagos e cursos de água, destacado por Gloria (1976). Após a proibição da disposição da vinhaça nos rios, a primeira solução encontrada foi a aplicação da vinhaça nas chamadas áreas de sacrifício, áreas muito próximas às destilarias que sofriam a deposição de grande quantidade de vinhaça, ano após ano. Estas áreas ficavam praticamente inutilizadas para a agricultura, principalmente pelo efeito de salinidade do solo, tornando-o improdutivo e de difícil remediação. Nos estudos realizados pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social BNDES e Centro de Gestão e Estudos Estratégicos CGEE (2008), destacam que o advento do Proálcool, e consequente expansão da indústria alcooleira do país, ocorreram um aumento significativo da produção de álcool, e também da geração de vinhaça, o que na safra de 2006/2007 atingiu cerca de 190 bilhões de L de vinhaça. A tecnologia de uso agrícola da vinhaça no cultivo da cana, como fonte fertilizante, foi praticamente

desenvolvida de forma gradualmente no Brasil, por não existir outro país com geração tão grande desse tipo de resíduo.

Quando depositada no solo, a vinhaça pode promover melhoria em sua fertilidade (GLORIA, 1976; PENATTI, 2013). Entretanto, a vinhaça se aplicada racionalmente, tem um valor fertilizante no cultivo da cana-de-açúcar pela concentração de compostos minerais como potássio, cálcio, magnésio e enxofre, além do alto teor de matéria orgânica, sendo que sua riqueza nutricional está ligada à origem do mosto. Quando se parte de mosto de melaço, observaram Penatti (2013) e na revisão de Ferreira e Monteiro (1987), apresentam maiores concentrações em matéria orgânica, cálcio, potássio, e magnésio, ao passo que esses elementos decaem consideravelmente quando se trata de mosto de caldo de cana, como é o caso de destilarias autônomas.

### **2.2.1 Características Químicas da Vinhaça**

Na literatura existem diversas citações bibliográficas sobre composição química da vinhaça. Sua característica química depende de sua origem (GLORIA, 1976; PENATTI, 2013), sendo variável devida à natureza e composição da matéria-prima e do modo de operar a destilaria. Almeida (1952), Gloria e colaboradores, em 1976, estudaram a composição da vinhaça. Mais recentemente, encontramos a Tabela 1, elaborada a partir de (MARQUES et.al., 2006), mostra a composição média dos diferentes tipos de vinhaça.

**Tabela 1:** Composição química da vinhaça oriunda de diferentes materiais primas: Melão, caldo e misto de cana-de-açúcar.

<b>Parâmetro</b>	<b>Melão (1)</b>	<b>Caldo (2)</b>	<b>Mistura (1)+(2)</b>
pH	4,2 – 5,0	3,7 – 4,6	4,4 – 4,6
Temperatura (°C)	80 – 100	80 – 100	80 – 100
DQO (mg/L O <sub>2</sub> )	25.000	6.000 – 16.500	19.800
DBO (mg/ L O <sub>2</sub> )	65.000	15.000 – 33.000	45.000
Sólidos totais (mg/L)	81.500	23.700	52.700
Material volátil (mg/L)	60.000	20.000	40.000
Material fixo (mg/L)	21.500	3.700	12.700
Nitrogênio (mg/L N)	450 – 1.600	150 – 700	480 – 710
Fósforo (mg/L P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	100 – 290	10 – 210	9 – 200
Potássio (mg/LK <sub>2</sub> O)	3.740 – 7.830	1.200 – 2.100	3.340 – 4.600
Cálcio (mg/L CaO)	450 – 5.180	130 – 1.540	1.330 – 4.570
Magnésio (mg/L MgO)	420 – 1.520	200 – 490	580 – 700
Sulfato (mg/L SO <sub>4</sub> )	6.400	600 – 760	3.700 – 3730
Carbono (mg/L C)	11.200 – 22.900	5.700 – 13.400	8.700 – 12.100
Relação C/N	16 – 16,4	19,7-21,1	16,4-16,5
Material orgânico (mg/L)	63.400	19.500	3800
Subst. Redutoras (mg/L)	9500	7900	8300

Fonte: Marques, 2006

Onde:

DBO: Demanda bioquímica de oxigênio.

DQO: Demanda química de oxigênio.

### **2.2.2 Efeitos da Vinhaça nas propriedades dos solos**

Nos anos 70 surgiram conceitos mais racionais para uso da vinhaça como fertilizante, considerando sua composição química e as características dos solos e das culturas, chegando à recomendação de doses em função do teor de K (GLÓRIA, 1976; MAGRO, 1976; NUNES JR, 1987; GLÓRIA, ORLANDO FILHO, 1984). Já na década seguinte, encontramos uma revisão bibliográfica ampla realizada por Ferreira e Monteiro (1987) sobre os efeitos da vinhaça nas propriedades de solo. Os autores indicam que a adição da vinhaça *in-natura*, aos solos é, sem dúvida, uma opção viável para o aproveitamento desse subproduto, visto que ele é um adequado fertilizante e proporciona melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Os efeitos da adição de vinhaça no solo foram discutidos por Rodella et al. (1990), com base nas explicações de Glória (1976), concluem que as vantagens decorrentes da utilização da vinhaça aplicada no solo são: a elevação do pH, aumento da capacidade de troca catiônica, aumento de disponibilidade de alguns nutrientes, melhoria da estruturação do solo, que é explicado pela formação de estruturas mais estáveis pela adição de matéria orgânica, aumento na retenção de água e no desenvolvimento da microflora e micro fauna do solo, como destacaram Glória e Magro (1976) e Ferreira e Monteiro (1987).

Atualmente, Penatti (2013), destaca que a maior parte da vinhaça produzida é utilizada como fertilizante condicionador de solo ou como água de irrigação nos canaviais.

A vinhaça deve ser vista, também, como agente do aumento da população e atividade microbiana no solo e, conforme Silva e Ribeiro (1998), o pH dos solos tratados com vinhaça aumenta, principalmente em áreas cultivadas há mais tempo, embora nos primeiros dez dias após sua aplicação o pH sofra uma redução considerável para, posteriormente, elevar-se abruptamente, podendo alcançar valores superiores a sete Rodella *et al.* (1990), a qual é explicada atuação dos microrganismos. Segundo Melo e Silva (2001) destacaram que a utilização da vinhaça na fertirrigação é uma tecnologia que tenta usar de forma racional os recursos naturais, pois, ao mesmo tempo em que impede que ela seja jogada nos rios, possibilita a fertilização dos solos cultivados.

### **2.2.3 Efeitos da vinhaça na produtividade de cana**

A vinhaça tem efeitos positivos para cultura de cana-de-açúcar de dois modos, seja como fonte de nutrientes (NK) e como suprimento de água. É de conhecimento técnico, que a aplicação de vinhaça é de fundamental importância, principalmente quando realizada nos períodos mais críticos com relação à disponibilidade de água no solo (Penatti, 2013), ou seja, há uma coincidência com a época da seca, fato que ocorre no período de safra na maioria das regiões canavieiras do Brasil.

O outro argumento sobre os benefícios da adição de suplemento hídrico a cultura, Penatti (2013) e Ferreira e Monteiro (1987), destacam que a cana produz 1 tonelada de colmos a mais por hectare para cada 10 mm de água aplicada na forma de irrigação durante o período seco. Supondo que se aplique uma dosagem de  $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinhaça seria equivalente a uma lâmina de 10 mm de água. Entretanto, deve se destacar que a vinhaça é mais importante fonte de K para a cultura da cana-de-açúcar (GLÓRIA, (1976); GLÓRIA E MAGRO, (1976). A literatura é concordante, que as quantidades de nutrientes adicionadas pela vinhaça aos solos representam uma substancial economia de divisas para o país, pois quase todo fertilizante potássico é importado. De acordo com Guazelli e Paes (1998), em média o benefício econômico na substituição de parte da adubação mineral por vinhaça situa-se em torno de adubação básica, da concentração de potássio na vinhaça, do tipo de solo e do método de aplicação, que também serão considerado como parâmetros relevantes para a sua regulamentação ambiental.

### **2.2.4 Efeitos da vinhaça na cana-de-açúcar**

O efeito positivo da vinhaça na produtividade da cana foi relatado por vários pesquisadores em praticamente todas as variedades nas mais diversas condições de solo e clima, e é visível nas áreas comerciais (PENATTI, 2013; ORLANDO FILHO, 1993; GLÓRIA, 1976; GLÓRIA E MAGRO, 1976). A vinhaça elevou o patamar de produtividade de muitos solos, quer pelo aporte de matéria orgânica como pelos nutrientes contidos por promover uma fase mais vigorosa de crescimento vegetativo. Penatti (2013) destaca que a dose a ser utilizada prevê a quantidade suficiente de fornecimento de potássio para o ciclo da soqueira. Entretanto, Nunes JR. (1987), concluíram que a aplicação excessiva de vinhaça promoveu um vigoroso crescimento

vegetativo, com maiores teores de sacarose apenas no 3º corte, sendo os resultados variáveis nos primeiros anos, ao pol da cana em função de variedade.

Penatti (2013), explica o fato pela cultura ter um consumo de luxo em relação ao potássio, é possível que em muitas áreas, a dose de vinhaça possa adicionar quantidades de potássio, maiores do que as necessárias. Evidentemente, (PENATTI, 2013; ORLANDO FILHO, 1993; GLÓRIA, 1976; GLÓRIA E MAGRO, 1976 e NUNES JR, 1987), destacam que a vinhaça não é um fertilizante completo, que supre todas as necessidades da cana, de forma a que, muitos pesquisadores se dedicaram a estudar como, quando e com que, complementar a vinhaça. De certa forma, para as soqueiras é necessária complementação da vinhaça com nitrogênio. Apesar de seu alto valor agrônômico, (PENATTI, 2013 e PENATTI et al., 2001), que em certos casos, apesar do aumento da produtividade da cana pela aplicação da vinhaça, constatou-se o efeito negativo de doses altas do efluente na qualidade da matéria prima para a produção de açúcar.

### **2.2.5 A vinhaça e o meio ambiente**

A legislação ambiental foi o marco inicial de outras em âmbito federal e estadual, que culminaram com o estabelecimento no Estado de São Paulo da Norma Técnica P4. 231- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2006). Esta legislação estabelece critérios para a utilização da vinhaça em solos agrícolas, considerando-se as características químicas do solo, a composição química da vinhaça e a extração pela cultura da cana-de-açúcar, independente do tipo de solo. A dose de vinhaça a ser aplicada no canavial é definida com base no seu teor de potássio e na análise química do solo. Estabelece ainda procedimentos para transporte, armazenamento e aplicação da vinhaça e as instruções para o Plano de Aplicação.

O potássio é o elemento em maior quantidade, e por isso tem sido a base considerada na regulamentação ambiental. Na seqüência, em relação aos volumes de vinhaça que podem ser aplicados, encontram-se maiores teores de enxofre e magnésio, seguidos do nitrogênio, cálcio e fósforo, isto considerando os macronutrientes, e considerando os micronutrientes. O ferro aparece em maior quantidade e depois é o manganês, seguido de zinco e cobre. Na prática, a quantidade aplicada de vinhaça está regulamentada pela Portaria P. 4231(janeiro de 2005), que se baseia na saturação de K na CTC do solo.

Deste modo, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2006) definiu por meio da Portaria P. 4231, a dose a ser aplicada para cada talhão em função da saturação de potássio no cálculo da capacidade de troca catiônica (CTC).

A dosagem máxima de vinhaça a ser aplicada no tratamento de solos agrícolas em cultura de cana-de-açúcar de acordo com a norma será determinada pela equação:

$$(m^3 \text{ de vinhaça } ha^{-1}) = [(0,05 \times CTC - Ks) \times 3744 + 185] / kvi \quad (Eq. 5)$$

Onde: 0,05 = 5% da capacidade de troca catiônica do solo CTC

CTC = Capacidade de Troca Catiônica, expressa em (cmolc/dm<sup>3</sup>), dada pela análise de fertilidade do solo realizada por laboratório de análise de solo e utilizando metodologia de análise do solo do Instituto Agrônômico - IAC, devidamente assinado por responsável técnico.

Ks = concentração de potássio no solo, expresso em (cmolc/dm<sup>3</sup>), à profundidade de 0 a 0,80 metros, dada pela análise de fertilidade do solo realizada por laboratório de análise de solo utilizando metodologia de análise de solo do Instituto Agrônômico – IAC devidamente assinado por responsável técnico.

3744 = constante para transformar os resultados da análise de fertilidade, expressos em (cmolc/dm<sup>3</sup>) ou meq/100(cm<sup>3</sup>), para kg de potássio em um volume de 1 (um) hectare por 0,80 metros de profundidade.

185 = massa, em kg, de K<sub>2</sub>O extraído pela cultura por hectare, por corte.

kvi = concentração de potássio na vinhaça, expressa em kg de K<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>, apresentada em boletim de resultado analítico, assinado por responsável técnico.

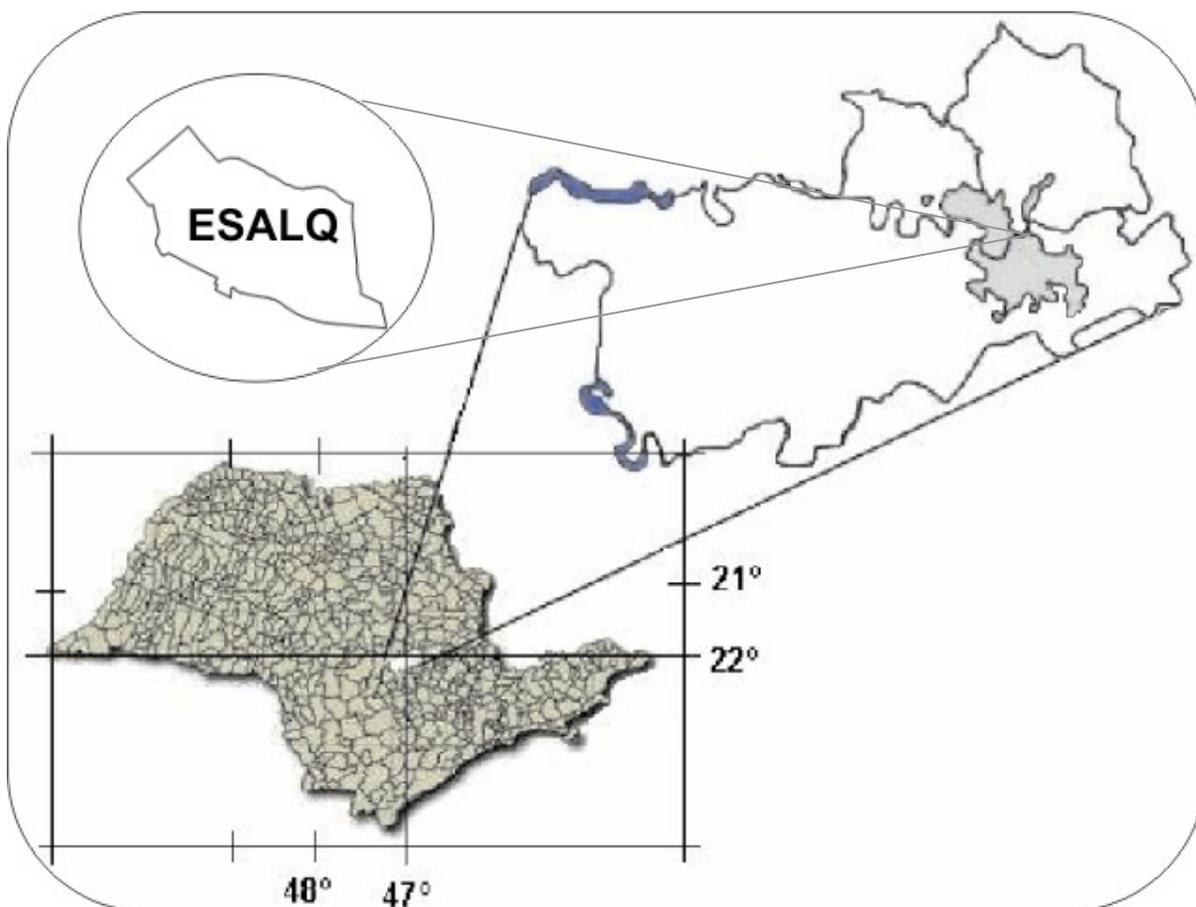
A vinhaça promove muito mais ganhos ambientais do que perdas. Deve-se, entretanto, cuidar para que aplicações exageradas em solos muito arenosos e com lençol freático superficial, não incorram em riscos de poluição ambiental, principalmente de cloretos e nitratos que podem ser carregados juntamente com o potássio, lixiviados chegando a atingir o lençol freático.

## CAPÍTULO 3. MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1. Caracterização de Solo, Clima local e Vinhaça

#### 3.1.1 Localização

O estudo foi conduzido com cana-de-açúcar existente em Piracicaba, na Fazenda Areão, que consiste numa área de 130 hectares, pertencente ao Campus "Luiz de Queiroz", administrada pela Diretoria da ESALQ, situada no Município de Piracicaba, na parte central do estado de São Paulo, entre as latitudes 22°41'13'' S e 22°43'16'' S e longitudes 47°36'17''W e 47°39'02''W. A altitude máxima é de 600 m e a mínima de 490 m.



**Figura 1:** Localização do ensaio na ESALQ no município de Piracicaba.

### 3.1.2 Condições climáticas do local

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, ou seja, tropical úmido com três meses mais secos (junho, julho, e agosto), chuvas de verão, seca de inverno, temperatura do mês mais quente maior que 22°C e ocorrência de geada de uma vez a cada 5 anos. Com relação ao regime térmico, a região apresenta temperatura média anual de 21,4°C, com média máxima de 28,2°C e média mínima de 14,8°C. A direção predominante dos ventos na região é E-SE.

O trimestre mais chuvoso é dezembro, janeiro e fevereiro com 610 mm, enquanto junho, julho e agosto formam os menos chuvosos, com precipitações médias do trimestre de 100,7 mm. A precipitação anual média é de 1275 mm.

### 3.1.3 Caracterização do solo

O solo em estudo foi classificado pelo Departamento de Solos e Nutrição de plantas da ESALQ como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO eutrófico típico.



**Figura 2:** Tipo do solo

Amostras foram analisadas no laboratório da Embrapa- Solos para caracterização granulométrica (tabela 2) e a densidade em anel volumétrico (tabela 3), utilizando-se as metodologias da (EMBRAPA 1997, 2013).

**Tabela 2:** Resultado da caracterização granulométrica do solo

Trincheira A7	Areia	Silte	Argila	Classe de textura
			Total	
Profundidade (cm)	(%)	(%)	(%)	
0-15	29,10	36,90	34,00	Média
15-30	27,20	32,00	40,80	Argilosa
30-90	15,70	25,20	59,10	Argilosa
90-110	17,40	30,60	52,00	Argilosa

Fonte: Laboratório da EMBRAPA - Solos

#### 3.1.4. Densidade

A densidade de solo foi avaliada pelo método do anel volumétrico, segundo o procedimento descrito pela (EMBRAPA, 2013).

**Tabela 3:** Resultados de análises das densidades das amostras coletadas nas trincheiras.

Trincheira	Profundidade (cm)	Peso (g)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
A7	0-20	130,79	100	1,30
A7	60-80	114,87	100	1,14

Fonte: Laboratório da EMBRAPA - Solos.

### 3.1.5 Caracterização da vinhaça

A vinhaça concentrada foi originária da unidade Usina Costa Pinto, Piracicaba, do Grupo Cosan/Raizen, que utiliza evaporadores de fluxo descendente do tipo névoa turbulento conhecida como tecnologia T.A.S.T.E. (*Thermally Accelerated Short Time Evaporation*). A vinhaça foi produzida com 22% de teor de sólidos, com volume reduzido em aproximadamente cinco vezes.

Foi transportada para a área experimental em tanques (figura 3) e depois aspergida utilizando equipamento próprio. A vinhaça *in natura* ou concentrada foi aplicada em área total, e o fertilizante nitrogenado, lateralmente a linha de plantio. Aplicou-se a quantidade de N ou o volume de vinhaça exata para a área da câmara estática fechada, material usado para determinação dos fluxos de óxido nitroso.



**Figura 3:** Transporte de vinhaça para usar no experimento na Fazenda Areão, em Piracicaba – SP, em registro em 12/2012.

Amostras de vinhaça foram retiradas antes da aplicação para caracterização de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, carbono orgânico e potássio entre outros. Essas análises foram realizadas segundo os protocolos e normas da CETESB, por o Instituto Brasileiro de Análise IBRA (Tabela 4).

**Tabela 4:** Caracterização da vinhaça *in natura* (1) e concentrada (2) utilizadas no experimento.

Descrição	Vinhaça <i>in natura</i>		Média(1)	Vinhaça concentrada		Média(2)
pH	3,93	4,02	<b>3,98</b>	3,99	3,97	<b>3,98</b>
Resíduo não filtrável (Sólidos suspensos) (mg/L)	34200,00	14800,00	<b>24500,00</b>	29100,00	41200,00	<b>35150,00</b>
Dureza Total CaCO <sub>3</sub> (mg/L)	2714,98	4606,35	<b>3660,67</b>	8730,90	8356,36	<b>8543,63</b>
Carbono Orgânico (titulação)(%)	2,07	5,26	<b>3,67</b>	7,99	6,59	<b>7,29</b>
Condutividade [mS/cm]	9,34	11,11	<b>10,23</b>	17,81	20,95	<b>19,38</b>
Nitrato NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	134,00	125,00	<b>129,50</b>	415,00	330,00	<b>372,50</b>
Nitrito NO <sub>2</sub> -N (mg/L)	3,40	11,00	<b>7,20</b>	18,00	16,50	<b>17,25</b>
Nitrogênio Amoniacal (mg/L) NH <sub>4</sub>	38,00	45,00	<b>41,50</b>	4,00	7,00	<b>5,50</b>
Nitrogênio Total (mg/L)	210,00	644,00	<b>427,00</b>	994,00	1335,60	<b>1164,80</b>
Cálcio (mg/L) Ca	675,00	1350,00	<b>1012,50</b>	1600,00	1450,00	<b>1525,00</b>
Fosfato (mg/L)	427,10	561,54	<b>494,32</b>	408,05	532,56	<b>470,31</b>
Sulfato (mg/L)	1300,00	1650,00	<b>1475,00</b>	5700,00	4400,00	<b>5050,00</b>
Potássio (Kg/m <sup>3</sup> ) K <sub>2</sub> O	2,79	2,98	<b>2,89</b>	6,90	6,70	<b>6,80</b>
Magnésio (mg/L) Mg	250,00	300,00	<b>275,00</b>	1150,00	1150,00	<b>1150,00</b>
Sódio (mg/L) Na	375,00	400,00	<b>387,50</b>	250,00	275,00	<b>262,50</b>

Fonte: Análises realizadas no Laboratório IBRA

Onde: Média (1): É a média aritmética dos parâmetros da vinhaça *in natura*.

Média (2): É a média aritmética dos parâmetros da vinhaça concentrada.

### 3.2. Materiais para as amostragem e quantificação das emissões de N<sub>2</sub>O

O ensaio começou com a aplicação de tratamentos, sendo no dia 6 de dezembro de 2012 o primeiro dia de amostragem de gás, o, com coletas diárias até o dia 15 de dezembro, passando a uma frequência a cada 3 dias. Nos meses de janeiro, fevereiro e março as coletas foram feitas uma vez por semana, em abril, a cada 15 dias, e a partir de maio até novembro, 1 coleta por mês.

Para a determinação dos fluxos de N<sub>2</sub>O foram utilizadas 30 câmaras estáticas fechadas, uma posicionada em cada parcela experimental. Eram construídas de metal, com base retangular de 40×60 cm com uma altura de 15 cm, sendo inseridas no solo a 5 cm de profundidade (Figuras 4 e 5). No momento das amostragens, as bases foram fechadas com uma chapa metálica de 45 x 65 cm, circundada por uma borracha que foi pressionada com ajuda de quatro grampos contra a base metálica (Figura 6). Cada tampa foi revestida com manta adesiva com superfície refletiva para reduzir o efeito do sol sobre a temperatura interna da câmara. Uma válvula de três vias foi colocada na parte central da tampa para permitir a retirada de gases no momento da amostragem.



**Figura 4:** Detalhes de câmara estática inserida no solo no experimento



**Figura 5:** Detalhes da tampa da câmara estática revestida com manta adesiva.



**Figura 6:** Detalhe das câmaras estáticas fechadas.

As amostragens ocorriam entre as 8:00 h e 10:00 h da manhã. Após o fechamento da câmara, retirava-se a primeira amostra de gás, chamada de tempo 0. A segunda amostra era coletada 15 minutos depois, e a terceira, e última, após 30 minutos, quando a tampa era removida da base. Para as coletas, foram utilizadas seringas de polipropileno de 60 mL equipada com

válvula de três vias (Figuras 7 e 8). Na coleta, cerca de 40 mL eram retirados da câmara e transferidos para frascos de cromatografia de 20 mL, evacuados imediatamente antes da transferência utilizando bomba de vácuo manual. Cerca de 10 mL do volume coletado eram descartados para rinsar o caminho entre a seringa e o frasco de 20 mL. Ao final, 30 mL eram transferidos para o frasco de cromatografia, que ficava pressurizado. Os frascos de 20 mL eram lacrados com septo de borracha clorobutílica. Após a coleta, os frascos eram encaminhados para determinação da concentração de  $N_2O$  por cromatografia gasosa na Embrapa Agrobiologia. Os fluxos de  $N_2O$  foram integrados numericamente no tempo utilizando o método dos retângulos para se obter a quantidade total emitida no período. (MORAIS et al.,2013).



**Figura 7:** Amostradores (seringas) para coleta de gases de  $N_2O$  na câmara estática.



**Figura 8:** Coleta do ar da câmara estática com as seringas.

### 3.3 Delineamentos Experimentais

O estudo foi instalado em seis blocos (repetições), com 5 tratamentos por bloco, perfazendo trinta parcelas em total. Os tratamentos utilizados para o experimento foram:

T<sub>1</sub>: 120 m<sup>3</sup>/ha vinhaça *in natura*.

T<sub>2</sub>: 120 m<sup>3</sup>/ha vinhaça + 60 kg de ureia.

T<sub>3</sub>: 20 m<sup>3</sup>/ha vinhaça concentrada.

T<sub>4</sub>: 200 kg ureia/ha.

T<sub>5</sub>: Testemunha.

Os tratamentos foram casualizados em cada bloco, os quais também foram casualizados na área experimental, tal como mostrado na Figura 9. Foram dispostas 5 câmaras em cada bloco, uma por parcela, com seis repetições. A disposição de cada tratamento foi sorteada como observamos na figura 9.

T <sub>5</sub> <sup>5</sup>	T <sub>4</sub> <sup>4</sup>	T <sub>3</sub> <sup>3</sup>	T <sub>2</sub> <sup>2</sup>	T <sub>1</sub> <sup>1</sup>	BLOCO 1
T <sub>1</sub> <sup>10</sup>	T <sub>3</sub> <sup>9</sup>	T <sub>4</sub> <sup>8</sup>	T <sub>5</sub> <sup>7</sup>	T <sub>2</sub> <sup>6</sup>	BLOCO 2
T <sub>4</sub> <sup>15</sup>	T <sub>2</sub> <sup>14</sup>	T <sub>3</sub> <sup>13</sup>	T <sub>1</sub> <sup>12</sup>	T <sub>5</sub> <sup>11</sup>	BLOCO 3
T <sub>4</sub> <sup>20</sup>	T <sub>1</sub> <sup>19</sup>	T <sub>5</sub> <sup>18</sup>	T <sub>3</sub> <sup>17</sup>	T <sub>2</sub> <sup>16</sup>	BLOCO 4
T <sub>2</sub> <sup>25</sup>	T <sub>5</sub> <sup>24</sup>	T <sub>3</sub> <sup>23</sup>	T <sub>1</sub> <sup>22</sup>	T <sub>4</sub> <sup>21</sup>	BLOCO 5
T <sub>4</sub> <sup>30</sup>	T <sub>5</sub> <sup>29</sup>	T <sub>2</sub> <sup>28</sup>	T <sub>1</sub> <sup>27</sup>	T <sub>3</sub> <sup>26</sup>	BLOCO 6

**Figura 9:** Esquema com a distribuição dos tratamentos experimentais, sendo os blocos correspondentes as linhas de parcelas, e os tratamentos identificados como: T<sub>1</sub>: 120 m<sup>3</sup>/ha vinhaça *in natura*; T<sub>2</sub>: 120 m<sup>3</sup>/ha vinhaça + 60 kg de ureia; T<sub>3</sub>: 20m<sup>3</sup>/ha vinhaça concentrada; T<sub>4</sub>: 200 kg ureia/ha; e T<sub>5</sub>: Testemunha.

Cada parcela foi formada de cinco linhas de 10 m de comprimento, com cinco linhas de cana espaçadas 1,40 m entre si. A área total do experimento correspondeu a 420 m<sup>2</sup>. O estudo foi realizado na fase cana-soca, após o 2º corte do canavial, sendo que a variedade utilizada foi a SP-823250. O experimento teve uma duração de 11 meses, sendo o plantio realizado em 5 de dezembro de 2012 e a colheita em 11 de novembro de 2013. A área onde o ensaio foi montado é mostrada na Figura 10.



**Figura 10:** Montagem do experimento no primeiro dia (12/2012)



**Figura 11:** Detalhe da área do experimento na Fazenda Areão, na época de colheita, em registro no último dia (11/2013).

A cada 3 dias a partir do primeiro dia, foram retiradas amostras do solo ao lado das câmaras estáticas fechadas para determinação dos seguinte parâmetros:

### **3.3.1 Determinação de N em suas formas de $\text{NH}_4$ e $\text{NO}_3/\text{NO}_2$**

Para a determinação de nitrogênio inorgânico pelo método da destilação a vapor, seguiu-se o método IME-RES-034 do laboratório de Análise Química de Fertilizantes e Resíduos do Instituto Agronômico Campinas IAC. Foram analisadas 300 amostras de solo em total, para a determinação de nitrogênio em suas formas de  $\text{NH}_4$  e  $\text{NO}_3/\text{NO}_2$ . O procedimento está descrito em RAIJ et, al (2001).

### **3.3.2 Determinação de Carbono solúvel**

As análises foram feitas usando-se a metodologia para a determinação do Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (BMSC), da Embrapa em seu comunicado técnico 98. Foram analisadas 300 amostras de solo em estudo, no Laboratório de Ciclagem de Nutrientes da Embrapa Agrobiologia.

### **3.3.3 Determinação do índice de pH**

Para a medição da concentração efetiva de íons  $\text{H}^+$  na solução de solo, usou-se o procedimento do Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes da (EMBRAPA, 2009). No total foram 180 medições de pH do solo.

### **3.3.4 Determinação de % de umidade**

Para a determinação de % de umidade usou-se o método de pesagens DNER- ME 213/94, que consiste na secagem da amostra à temperatura entre 105 °C e 110 °C, até que apresente peso constante. A percentagem de umidade é obtida pela diferença entre o peso úmido e o peso seco em razão do peso seco. .

### **3.4 Monitoramentos de chuvas e temperatura do ar**

Foram utilizados dados meteorológicos médios provenientes da Estação Meteorológica Automática (EMA), instalada na Fazenda Areão, próxima ao experimento, na ESALQ/USP, Piracicaba, SP (Latitude: 22°42' S, Longitude: 47°38'W, Altitude: 546m), com uma distância de aproximadamente 2 km entre elas, ocupando aproximadamente a mesma cota de altitude. No apêndice A.1, apresentam-se os dados de precipitação, temperatura média, umidade e velocidade e direção do vento nas datas das coletas de amostras de solos e de fluxos de N-N<sub>2</sub>O.

### **3.5. Análises Estatísticas**

As análises estatísticas foram realizadas através do software SAS v.9.3. Foi considerado o delineamento do ensaio em blocos ao acaso, com 5 tratamentos e 6 repetições para análise de variância, levando em conta o fator tempo.

Os ensaios em parcelas subdivididas apresentam as subdivisões no tempo, isto é, são feitas observações sucessivas em uma mesma parcela por um período de tempo. No caso, o ensaio foi em blocos casualizados para a comparação de tratamentos (5) com 6 repetições que são fontes de N e uma testemunha, as emissões foram determinadas por um período de um ano, ou seja um ciclo completo da soqueira até seu corte (dezembro/2012 a novembro/2013).

Os fluxos de N-N<sub>2</sub>O, foram relacionados às variáveis explicativas do solo na profundidade de 0-20 cm (umidade, carbono solúvel, pH, teor de NO<sub>3</sub> e NH<sub>4</sub>) através dos modelos lineares de regressão múltipla, testando-se a magnitude da influência das variáveis explicativas pelo procedimento *stepwise*. Para evitar a colinearidade na análise de regressão, utilizou-se apenas uma variável para cada parâmetro estudado (umidade e teor de N disponível), em todas as combinações possíveis.

### 3.6. Estimativas dos fatores de emissão de N<sub>2</sub>O por tratamento

A partir das emissões acumuladas de N-N<sub>2</sub>O por tratamento, foram calculados os fatores de emissão deste GEE, em relação à quantidade de nitrogênio adicionado nos respectivos tratamentos. No cálculo do fator de emissão pela adubação nitrogenada foi considerado a dose de nitrogênio (total) nas câmaras instalada nas linhas da cana de açúcar.

O fator de emissão pela aplicação de vinhaça foi calculado considerando-se a emissão acumulada de N-N<sub>2</sub>O em área total dos tratamentos com vinhaça e o conteúdo de nitrogênio aplicado na forma deste efluente.

### 3.7 Fatores de Emissão

O Fator de emissão é calculado com o quociente entre o total dos dados de emissão de óxido nitroso acumulado no período experimental de cada tratamento, pela quantidade de nitrogênio aplicada como N- fertilizante.

O cálculo foi feito fazendo a somatória dos fluxos acumulados das áreas fertilizadas (N<sub>2</sub>O<sub>f</sub>) menos a somatória dos fluxos das áreas não fertilizadas (controle, N<sub>2</sub>O<sub>sf</sub>). Para obter o fluxo total diário foram multiplicadas por 24. Para determinar o fator de emissão (FE<sub>N<sub>2</sub>O</sub>), os fluxos acumulados totais são divididos pelo nitrogênio aplicado como fertilizante (N<sub>ap</sub>) para cada tratamento. A equação proposta por (KLEIN et al., 2003), foi adaptada para avaliar o fator de emissão, aplicando fertilizante nitrogenado e vinhaça em solos agrícolas.

$$FE_{N_2O} = \left[ \frac{(N_2O_{(f)} - N_2O_{(sf)})_{Acumulado}}{N_{ap}} \right] \times 100 \quad (Eq.6)$$

Onde:

FE (N<sub>2</sub>O): É o fator de emissão de N<sub>2</sub>O (emitido em %)

N<sub>2</sub>O (f): Fluxos de N-N<sub>2</sub>O a partir das áreas fertilizadas (mg N m<sup>-2</sup>)

N<sub>2</sub>O(sf): Fluxos de N-N<sub>2</sub>O das áreas não fertilizadas ou controle (mg N m<sup>-2</sup>)

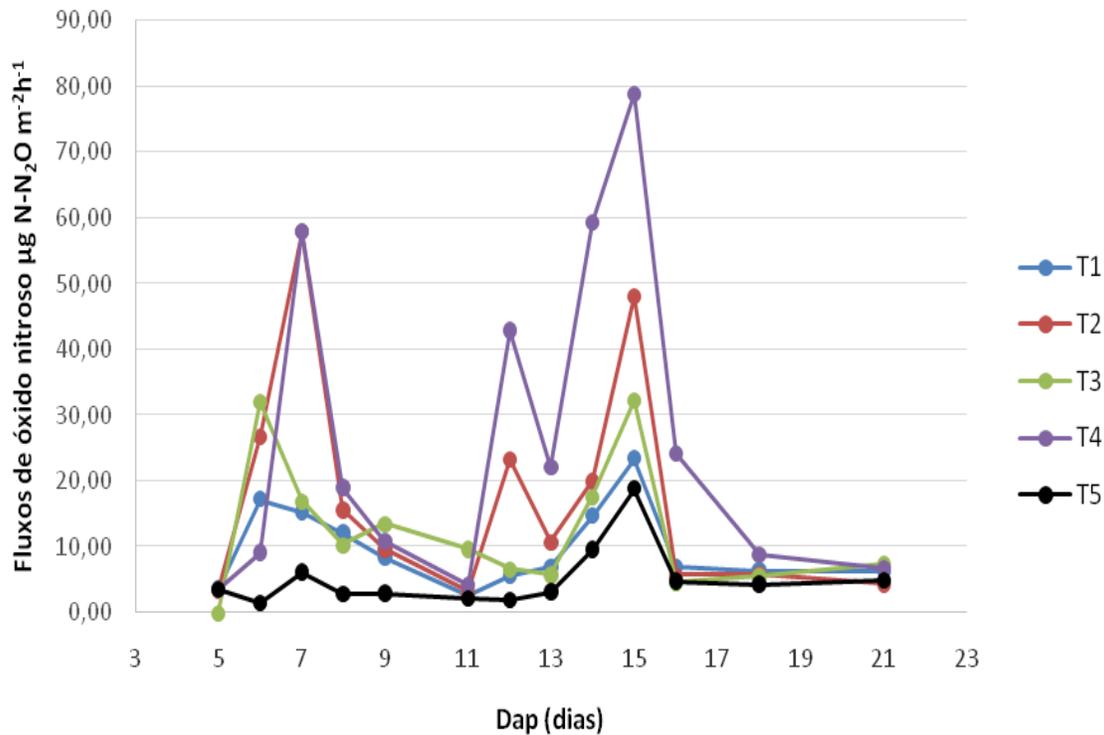
N<sub>ap</sub>: N aplicado como fertilizante (mg N m<sup>-2</sup>).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Emissões de N<sub>2</sub>O do solo

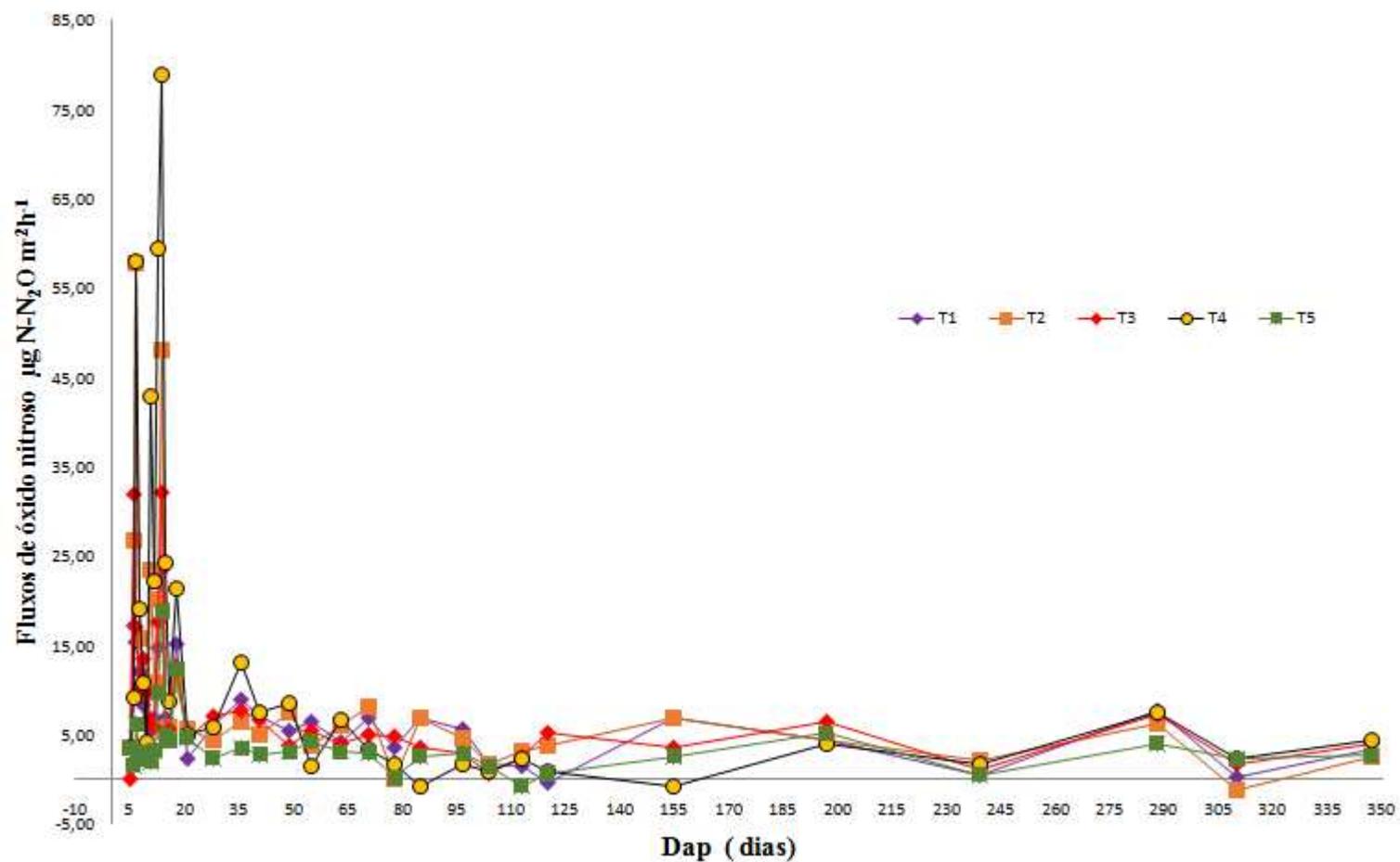
Os fluxos de N<sub>2</sub>O do solo foram induzidos pela presença dos diferentes tratamentos, porém em magnitudes diferentes. Os fluxos mais elevados foram registrados nos primeiros 15 dias após o início do monitoramento (Figura 12), sendo mais elevados no tratamento que recebeu uréia na dose de 200 kg ha<sup>-1</sup>, mas sem a presença de vinhaça (Figura 13). No entanto, fazendo-se uma análise por períodos, verifica-se que a adição de vinhaça proporcionou os maiores fluxos de N<sub>2</sub>O nos primeiros 2 dias de monitoramento, com destaque para a vinhaça concentrada (Época 1, Tabela 7). Nos períodos seguintes, houve uma maior influência da uréia sobre os fluxos de N<sub>2</sub>O, sendo a aplicação conjunta de uréia e vinhaça responsável por altos fluxos, e um pouco mais tarde somente pela uréia aplicada em alta dose.

O tratamento controle (T<sub>5</sub>) apresentou fluxos de N<sub>2</sub>O mais baixos durante todo o período, e a partir de março praticamente não se observavam efeitos de tratamentos.



**Figura 12:** Fluxos de N<sub>2</sub>O do solo sob efeito de diferentes tratamentos, registrados no período do mês de dezembro de 2012, onde Dap: Dias após a coleta, T<sub>1</sub>: 120 m<sup>3</sup>/ha vinhaça *in natura*, T<sub>2</sub>: 20 m<sup>3</sup>/ha vinhaça + 60 kg de ureia, T<sub>3</sub>: 20 m<sup>3</sup>/ha vinhaça concentrada, T<sub>4</sub>: 200 kg ureia/ha, T<sub>5</sub>: Testemunha.

Na anterior figura apresentam-se os fluxos do gás N<sub>2</sub>O do mês de dezembro. Indica que a ureia pura induziu fluxos maiores de N<sub>2</sub>O, o que é esperado porque a concentração de nitrogênio é maior. Também se observa que a adição de ureia com vinhaça induziu acima do que a vinhaça pura.



**Figura 13:** Fluxos de  $N_2O$  do solo sob efeito de diferentes tratamentos, registrados no período de dezembro de 2012 a novembro de 2013, onde Dap: Dias após a coleta, T<sub>1</sub>: 120 m<sup>3</sup>/ha vinhaça *in natura*, T<sub>2</sub>: 20 m<sup>3</sup>/ha vinhaça + 60 kg de ureia, T<sub>3</sub>: 20 m<sup>3</sup>/ha vinhaça concentrada, T<sub>4</sub>: 200 Kg ureia/ha, T<sub>5</sub>: Testemunha.

Paredes et al. (2014) encontraram fluxos de  $N_2O$  elevados após a aplicação vinhaça o que pode estar associado ao aumento do C lábil no solo, que estimula a microbiota do solo responsável pela desnitrificação do N mineral já existente no solo. Isso também explicaria o efeito mais forte da vinhaça concentrada nos primeiros dias do estudo. O efeito tardio da ureia estaria associado às etapas de solubilização, hidrólise, nitrificação e desnitrificação, fazendo com que sua influência sobre os fluxos de  $N_2O$  acontecesse após os primeiros dias do estudo. Essa situação também é relatada em (ALVES et al.,2012), e foi encontrada por (PAREDES et al.,2014).

Era de se esperar que os maiores fluxos de  $N_2O$  ocorressem no tratamento em que o N foi aplicado junto com a vinhaça, tal como discutido por (CARMO et al.,2013). Neste sentido, (PAREDES et al., 2014) mostraram que o processo é significativo quando a ureia é aplicada ao solo e dias depois faz-se a aplicação da vinhaça. Esse intervalo de tempo é importante para que o N da uréia se transforme até nitrato, quando a presença da vinhaça pode desencadear grandes perdas.

**Tabela 5:** Influência dos tratamentos nas emissões de **óxido nítrico** em:  $\mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2}\text{h}^{-1}$  nas diferentes épocas, no teste de Tukey, a 5% de significância no teste F.

Época (Dap)	Tratamentos (médias) $\mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2}\text{h}^{-1}$					Estatística	
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	Pr > F	DSM
1	17,18AB	26,69AB	38,98A	9,15B	1,71B	0,0050	27,228
4	8,34B	9,72AB	19,85A	10,83AB	3,01B	0,0041	11,107
6	5,57B	23,32A	16,97AB	35,47A	1,95B	0,0012	27,865
8	14,65AB	19,99AB	7,79B	59,34A	7,88B	<0,0001	17,635
12	5,57AB	5,85AB	4,63B	8,78A	4,34B	0,0070	3,436
22	2,40A	5,54A	5,50A	4,97A	4,57A	0,4190	5,403
30	6,00AB	4,39AB	10,52A	5,76AB	2,36B	0,0517	7,554
35	5,69B	6,36AB	8,75AB	13,13A	3,49B	0,0070	7,188
43	6,96AB	4,98AB	6,73AB	9,18A	2,72B	0,0450	5,953
49	5,33A	7,54A	2,61A	8,60A	3,06A	0,0520	6,666
57	6,42A	3,67AB	4,65AB	1,17B	4,23AB	0,0380	5,832
64	4,09A	6,01A	5,93A	3,67A	3,06A	0,2550	5,269
71	6,79 A	8,13A	5,04A	1,09A	2,97A	0,0898	8,787
78	3,61A	0,9A	4,80A	3,48A	1,17A	0,1849	6,981
106	6,75B	6,94B	3,59B	1,80 B	2,25B	0,0479	7,862
141	6,75A	6,94A	3,59A	1,47A	2,58A	0,0744	8,276
162	4,43A	4,37A	4,73A	2,46A	1,09A	0,4808	6,869
204	0,40A	2,05A	0,96A	1,74A	-0,45A	0,9568	7,960
209	0,82AB	0,97AB	3,85A	2,94AB	-0,87B	0,0069	3,034
245	7,59A	1,80A	8,24A	5,62A	2,15A	0,0347	6,570
294	0,21A	1,19A	1,83A	1,84A	2,27A	0,1286	4,317
347	3,42A	2,03A	3,96A	3,15A	2,69A	0,7729	4,621

Onde: Dap: Dias após a coleta, T<sub>1</sub>: 120 m<sup>3</sup>/ha vinhaça *in natura*, T<sub>2</sub>: 20 m<sup>3</sup>/ha vinhaça + 60 kg de ureia, T<sub>3</sub>: 20 m<sup>3</sup>/ha vinhaça concentrada, T<sub>4</sub>: 200 kg ureia/ha, T<sub>5</sub>: Testemunha.

No presente estudo, a aplicação de ureia e vinhaça foram simultâneas, e o preocupante efeito da vinhaça não ocorreu. De fato, houve uma tendência a perdas menores do que as observadas quando a ureia foi aplicada isoladamente, em alta dose.

Carmo et al (2013) mostraram um forte efeito do nível de palhada sobre o solo nas emissões de  $N_2O$ , porém, no presente estudo, o nível de palhada foi similar e o provável efeito da palhada repercutiu da mesma forma para todos os tratamentos. No entanto, a palhada pode ter contribuído para altos fluxos de  $N_2O$  no tratamento com ureia, especialmente alguns dias depois do início do estudo quando as chuvas foram mais freqüentes. Esse efeito da palhada é esperado em altos níveis de umidade do solo, quando a palhada funciona como fonte de C para o sistema e magnífica o processo de desnitrificação ao funcionar como fonte redutora do nitrato existente (VARGAS et al.,2014).

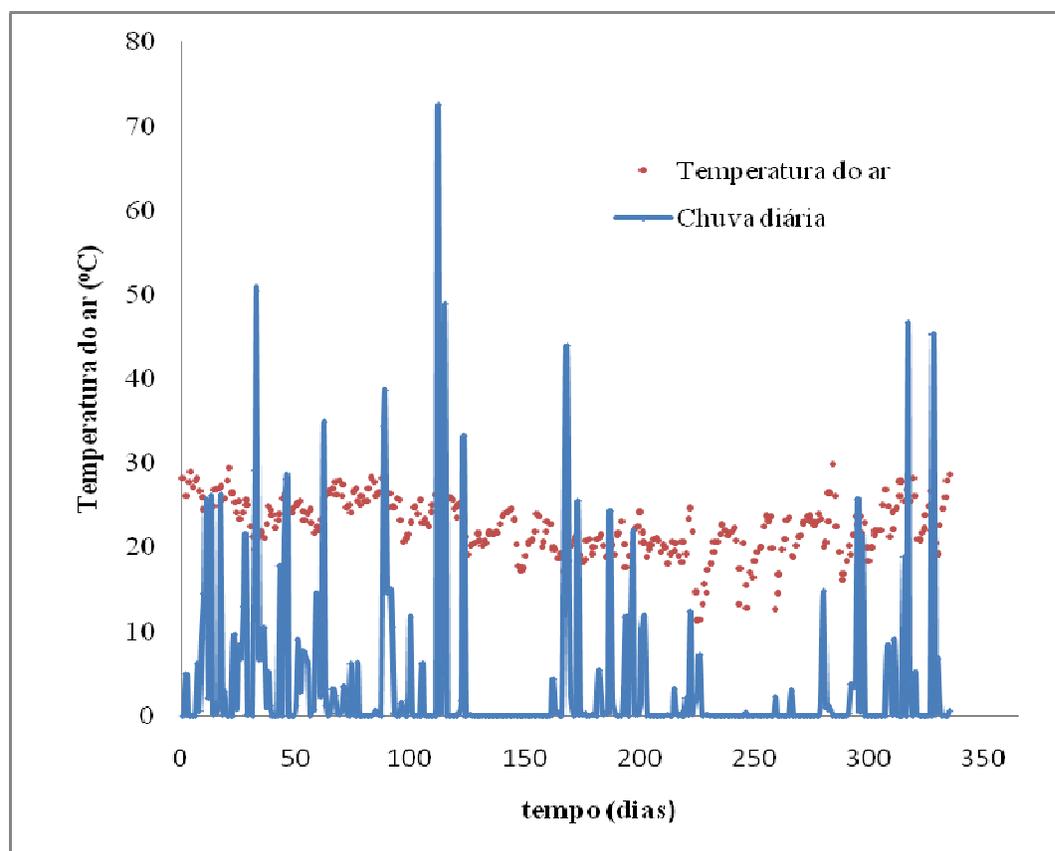
#### **4.2. Variações de umidade e temperatura**

No dia em que se iniciou o monitoramento dos gases (06/12/2012), foi registrado um volume de chuva de 5 mm seguido de cinco dias sem chuvas. Do sexto ao décimo dia, as chuvas foram freqüentes, com um total acumulado de 59 mm (Figura 14). Até o final de dezembro de 2012, outros dias chuvosos foram registrados, alguns deles coincidindo com as datas de amostragem de gás, que passaram a ser menos freqüentes. Daí por diante, houve dias de amostragem secos e outros chuvosos, consolidando-se um período mais seco a partir de abril até o final das amostragens. A temperatura média diária do ar oscilou mais freqüentemente entre 25 a 30(°C) no primeiro mês de estudo, tendendo a diminuir daí por diante para valores entre 20 e 25 (°C) (Figura 14). A faixa de temperatura encontrada não é limitante para os processos biológicos ligados a produção de  $N_2O$  do solo, porém podem influenciar a magnitude das emissões de modo sazonal.

O primeiro mês de estudo é normalmente o mais relevante para os monitoramentos de gases em função da recente aplicação de tratamentos com fontes de N (MORAIS et al., 2013).

Sempre que existem aumentos das concentrações de N no solo, são altas as chances de indução de emissões de  $N_2O$  em função da estimulação sofrida pelos processos biológicos de nitrificação e desnitrificação (SMITH et al., 2003).

Lundquist et al. (1999), trabalhando com resíduos vegetais no solo, encontraram fluxos de  $N_2O$  inicialmente mais elevados, sendo influenciados pelas reduzidas chuvas e baixa umidade do solo. Os autores observaram também que a fraca intensidade dos fluxos de  $N_2O$  no solo que encontraram, comparada aos seus próprios experimentos anteriores, deveu-se ao menor regime de chuvas que ocorreu durante o período, com pequenas precipitações e maior intervalo entre elas, mantendo a umidade do solo a níveis muito baixos.



**Figura 14:** Temperatura do ar e precipitação pluviométrica durante todo o período das amostragens de fluxos de  $N_2O$  do solo.

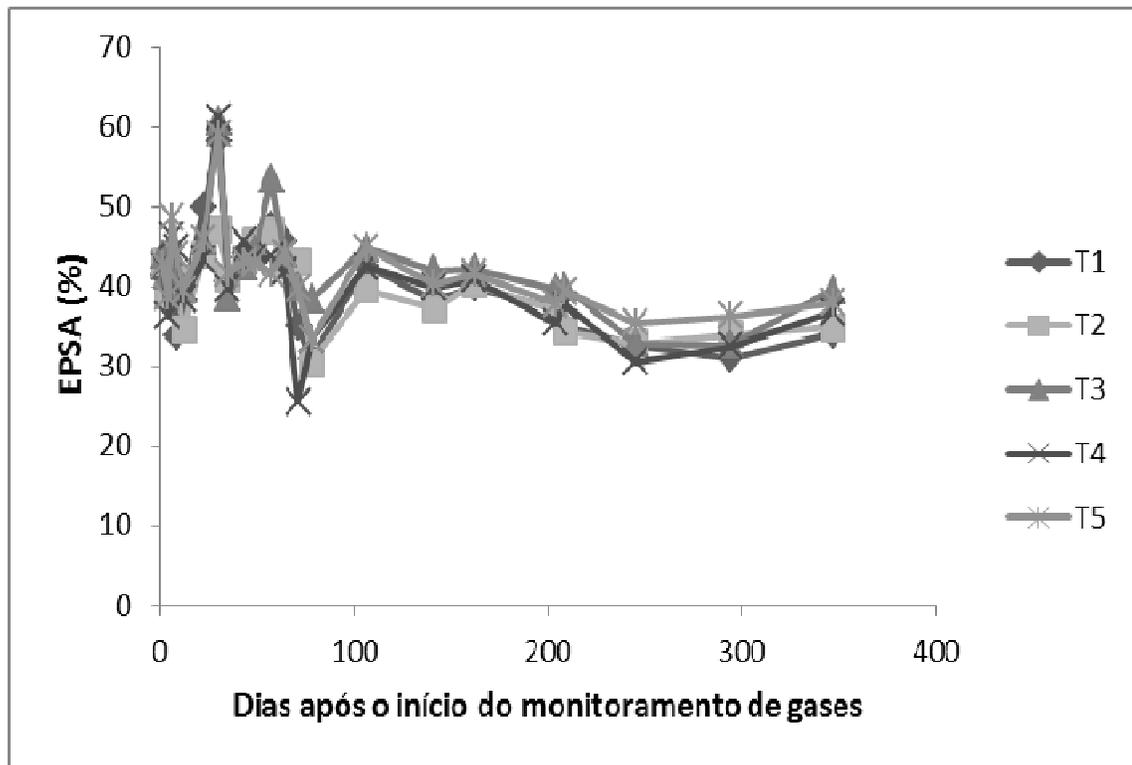
A umidade do solo pouco variou entre os tratamentos (Tabela 6), havendo diferenças significativas, porém ainda pequenas, somente após 2 meses do início do estudo.

**Tabela 6:** Teores de (%) **umidade** do solo nas diferentes épocas.

Época	Tratamentos (médias) $\mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2}\text{h}^{-1}$					Estatística	
	Dap	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	Pr > F
1	18,09A	18,76A	19,19A	18,50A	18,60A	0,865	3,5329
4	17,43A	16,91A	18,05A	15,83A	16,85A	0,419	3,8160
6	18,64A	17,76A	19,35A	20,20A	21,20A	0,305	5,5025
8	14,72A	17,91A	18,15A	19,54A	19,21A	0,061	4,9659
12	16,68A	15,08A	17,36A	16,75A	17,27A	0,787	6,8647
22	21,76A	19,18A	19,88A	18,92A	19,96A	0,489	5,7127
30	25,39A	20,55A	26,50A	26,68A	25,71A	0,732	17,323
35	17,71A	17,88A	16,89A	17,29A	18,15A	0,824	3,9903
43	18,99A	18,93A	18,56A	19,95A	18,82A	0,204	1,8747
49	18,93A	19,90A	19,44A	18,95A	18,72A	0,672	3,0112
57	20,76AB	20,43AB	23,30AB	19,05B	18,16BB	0,004	3,1312
64	19,88A	18,64A	19,22A	18,22A	19,23A	0,679	4,0300
71	15,27A	18,79A	17,44A	11,12A	17,28A	0,376	13,2710
78	13,43A	13,25A	16,72A	14,50A	14,52A	0,366	6,0532
106	18,54A	17,31A	19,56A	18,55A	19,56A	0,271	3,6279
141	16,74A	16,23A	18,31A	17,37A	17,59A	0,303	3,2523
162	17,37A	17,59A	18,39A	17,84A	18,11A	0,186	1,3955
204	16,27A	16,18A	17,30A	15,44A	16,50A	0,237	2,4935
209	15,25A	14,96A	17,40A	16,43A	17,17A	0,006	1,5639
245	14,20BC	14,35B	14,34B	13,31C	15,44A	0,001	1,0156
294	13,50D	14,79B	14,23C	14,16C	15,83 A	<,0001	0,5225
347	14,86A	15,20A	17,26A	16,03A	16,4A	0,094A	2,8114

Onde: Dap: Dias após a coleta, T<sub>1</sub>: 120 m<sup>3</sup>/ha vinhaça *in natura*, T<sub>2</sub>: 20 m<sup>3</sup>/ha vinhaça + 60 kg de ureia, T<sub>3</sub>: 20 m<sup>3</sup>/ha vinhaça concentrada, T<sub>4</sub>:200 kg ureia/ha, T<sub>5</sub>:Testemunha.

A produção de  $N_2O$  no solo ocorre de forma mais intensa quando existe limitação de  $O_2$  o que está associado a intensidade da chuva e umidade inicial do solo (ALVES et al., 2012b). As chuvas ocorridas nos primeiros 15 dias de monitoramento fizeram com que o espaço poroso saturado com água (EPSA) se elevasse acima de 60% (Figura 15), limite, acima do qual, altos fluxos são esperados (DOBBIE et al., 1999). Em faixas de umidade mais baixas, ou seja, com mais baixo EPSA, existe mais aeração do solo e a intensidade de produção de  $N_2O$  diminui.



**Figura 15:** Proporção do espaço poroso saturado com água (EPSA %) ao longo do período de monitoramento de fluxos de  $N_2O$  do solo, nos diferentes tratamentos.

Quanto a temperatura do solo, valores mais elevados foram registradas em fevereiro, cuja temperatura média a 2,5 cm de profundidade foi 28 °C e a 5,0 cm foi 26,0 °C. As mais baixas foram registradas em julho, cuja temperatura média a 2,5 cm foi 15,0 °C.

#### **4.3 Variações do índice do pH**

Da mesma forma, o pH do solo mostrou-se bastante estável ao longo do tempo e entre os tratamentos, variando na faixa de 5 a 5,6 (Tabela 7). Somente aos 60 a 78 dias, para os tratamentos que receberam a vinhaça, houve diferença significativa, o que está de acordo com dados de Matiazzi (1976). Em função do pH ácido da vinhaça, é possível levantar a hipótese de que seu uso na agricultura viesse a comprometer a qualidade do solo, principalmente elevando sua acidez. Entretanto Almeida et. al. (1952), observaram que, apesar da vinhaça ser ácida, ao contrário do que se esperava, ela elevava o pH do solo, melhorando a sua acidez e suas propriedades físicas.

**Tabela 7:** Influência dos tratamentos nos teores de pH do solo nas diferentes épocas.

Época	Tratamentos (médias)					Estatística	
	Dap	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	Pr > F
1	5,32A	5,48A	5,29A	5,83A	5,32A	0,170	0,7549
4	5,52A	5,60A	5,48A	5,54A	5,23A	0,596	0,8066
6	5,36A	5,31A	5,29A	5,40A	5,24A	0,776	0,4357
8	5,65A	5,02A	5,05A	5,02A	5,02A	0,056	0,7138
12	5,65A	5,56A	5,22A	5,47A	5,23A	0,508	0,9955
22	5,40A	5,30A	5,25A	5,35A	5,21A	0,019	0,3806
30	5,47A	5,50A	5,50A	5,37AA	5,24A	0,107	0,3279
35	5,35A	5,37A	5,29A	5,32A	5,34A	0,970	0,4189
43	5,34A	5,36A	5,31A	5,32A	5,36A	0,982	0,4018
49	5,27A	5,27A	5,23A	5,11A	5,29A	0,715	0,4751
57	5,22A	5,23A	5,19A	5,11A	5,22A	0,838	0,4166
64	5,45A	5,40A	5,43A	5,18AA	5,13AA	0,024	0,3283
71	5,35A	5,407A	5,42A	5,09B	5,08B	0,001	0,2207
78	5,42A	5,36A	5,37A	5,15A	5,12A	0,116	0,4214
106	5,28A	5,33A	5,43A	5,18A	5,13A	0,156	0,3977
141	5,18B	5,37A	5,16B	5,22AB	5,30AB	0,021	0,1786
162	5,25A	5,26A	5,36A	5,16 A	5,02A	0,185	0,2429
204	5,15B	5,15B	5,40A	5,13B	5,18B	0,002	0,1587
209	5,28AB	5,14B	5,44A	5,15B	5,15B	0,013	0,2525
245	5,19A	5,02B	5,22A	5,22A	5,21A	<,0001	0,0465
294	5,05B	5,09AB	5,25A	5,20AB	5,21AB	0,022	0,1822
347	5,29A	5,13AB	5,17AB	5,02B	5,07B	0,013	0,1987

Onde: Dap: Dias após a coleta, T<sub>1</sub>: 120 m<sup>3</sup>/ha vinhaça *in natura*, T<sub>2</sub>: 20 m<sup>3</sup>/ha vinhaça + 60 kg de ureia, T<sub>3</sub>: 20 m<sup>3</sup>/ha vinhaça concentrada, T<sub>4</sub>: 200 kg ureia/ha, T<sub>5</sub>: Testemunha.

#### **4.4 Variações no N-disponível do solo**

Analisando-se o efeito dos tratamentos com fertilização nitrogenada e vinhaça (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>), em comparação a testemunha (T<sub>5</sub>), sobre a disponibilidade de N-NO<sub>3</sub> no solo em cada fase do cultivo da cana (Tabela 8), observou-se que somente nos tratamentos com uréia as concentrações foram um pouco mais altas. Quatro dias após o início do estudo, os níveis de nitrato (NO<sub>3</sub>) foram reduzidos em todos os tratamentos e novamente se elevaram no sexto dia. A partir daí, as condições de umidade do solo eram maiores e perdas por desnitrificação explicariam uma nova redução da concentração de NO<sub>3</sub> no solo.

**Tabela 8:** Influência dos tratamentos nos teores de **nitrito (N-NO<sub>2</sub>)** em: (mg/kg) do solo nas diferentes épocas,

Época (Dap)	Tratamentos (mg/kg)					Estatística	
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	Pr > F	DSM
1	3,20B	10,95AB	0,26B	15,66A	3,90B	0,0067	10,915
4	2,51A	3,85A	2,18A	5,45A	4,56A	0,7220	9,282
6	5,01A	17,50A	4,41A	12,32A	6,08A	0,4246	26,601
8	4,00BC	9,83A	2,66C	4,80B	4,41BC	<,0001	1,789
12	4,37B	6,18B	5,41B	10,53A	4,08B	0,0029	3,950
22	1,89A	12,15A	2,31A	1,77A	2,01A	0,3330	19,155
30	1,06A	2,15A	2,67A	3,35A	0,94A	0,5129	5,352
35	1,24A	9,99A	2,05A	4,76A	2,05A	0,2920	14,432
43	2,36A	10,20A	4,07A	4,76A	3,70A	0,2006	10,668
49	0,92A	1,77A	1,21A	3,96A	1,39A	0,6590	7,560
57	5,30A	3,68A	3,91A	3,83A	4,93A	0,8850	6,823
64	5,13A	1,62A	1,70A	1,14A	8,22A	0,2590	11,709
71	1,78A	1,27A	2,26A	1,14A	4,76A	0,2080	5,278
78	0,62C	4,27C	11,54B	1,11C	22,11A	<,0001	5,131
106	2,72A	4,27A	4,16A	3,32A	4,33A	0,3603	4,094
141	1,21C	2,91BC	4,77AB	5,80A	6,62A	0,0003	2,422
162	1,43C	1,31DC	1,25D	1,85B	7,07A	<,0001	0,176
204	0,27C	1,13B	0,87B	2,26A	1,07B	<,0001	0,562
209	2,64B	0,62E	1,92C	3,34A	1,09D	<,0001	0,303
245	0,93C	2,37AB	1,61BC	2,44AB	2,75A	0,0007	0,898
294	1,20A	2,54A	3,36A	1,24A	1,15A	0,3021	4,071
347	0,11B	0,92 A	0,95A	0,95A	0,15B	<,0001	0,1156

Onde: Dap: Dias após a coleta, T<sub>1</sub>: 120 m<sup>3</sup>/ha vinhaça *in natura*, T<sub>2</sub>: 20 m<sup>3</sup>/ha vinhaça + 60 kg de ureia, T<sub>3</sub>: 20 m<sup>3</sup>/ha vinhaça concentrada, T<sub>4</sub>: 200 kg ureia/ha, T<sub>5</sub>: Testemunha.

Medias seguida pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A concentração de  $\text{NH}_4^+$  no solo foi mais elevada no tratamento com ureia sem vinhaça, indicando que perdas maiores no tratamento em que a mesma dose de ureia foi aplicada com a vinhaça ocorreram (Tabela 9). No entanto, não é claro como uma interação entre ureia, de reação alcalina no solo, e vinhaça, de caráter ácido, poderiam resultar em perdas de N do solo. É possível, porém, que tenha havido nitrificação e em seguida desnitrificação até  $\text{N}_2$ , promovida pela alta concentração de C lábil (SMITH et al., 2003) no tratamento com uréia e vinhaça.

**Tabela 9:** Influência dos tratamentos nos teores de amônio (N- NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) em (mg/kg) do solo, nas diferentes épocas, no teste de Tukey, a 5% de significância no teste F.

Época (Dap)	Tratamentos (mg/kg)					Estatística	
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	Pr > F	DSM
1	4,89B	25,35B	0,61B	133,69A	5,69B	0,0001	54,532
4	4,27A	29,17A	4,66A	47,10A	5,67A	0,3815	86,085
6	8,45A	21,35A	6,89A	62,52A	4,14A	0,7761	91,22
8	7,24A	2,66A	5,07A	2,60A	2,70A	0,4038	9,453
12	16,68A	15,08A	17,36A	16,75A	17,27A	0,4288	6,865
22	4,66A	3,47A	3,38A	6,64A	3,16A	0,3934	6,564
30	4,73A	6,83A	7,29A	14,46A	5,02A	0,3613	17,234
35	9,80A	6,23A	5,00A	7,54A	5,23A	0,1465	6,353
43	12,98A	7,88A	8,76A	7,54A	10,97A	0,2330	8,519
49	7,50A	5,16AB	5,60AB	6,70AB	1,69B	0,0122	5,658
57	7,01A	5,48A	6,51A	6,04A	7,04A	0,5990	6,621
64	10,85A	11,10A	6,17A	6,30A	5,77A	0,2770	10,571
71	0,00B	7,30A	5,22A	6,30A	1,22B	<,0001	2,164
78	8,39A	6,04A	76,05A	3,91A	19,45A	0,3869	135,910
106	6,40A	6,04A	5,39A	5,40A	4,72A	0,6489	3,972
141	3,21D	5,94BC	5,71C	8,28A	6,69B	<,0001	0,864
162	3,24B	6,67A	6,99A	7,29A	6,69A	<,0001	1,098
204	0,97C	6,04A	7,20A	7,27A	4,43B	<,0001	2,113
209	8,77A	6,34B	7,51AB	8,64AB	2,19C	<,0001	2,350
245	3,28C	5,13A	4,44AB	4,06BC	4,97A	0,0006	0,877
294	5,71A	7,57A	5,24AB	2,00B	4,77AB	0,0057	3,381
347	1,17B	1,47AB	1,36B	1,94A	1,36B	0,0106	0,537

Onde: Dap: Dias após a coleta, T<sub>1</sub>: 120 m<sup>3</sup>/ha vinhaça *in natura*, T<sub>2</sub>: 20 m<sup>3</sup>/ha vinhaça + 60 kg de ureia, T<sub>3</sub>: 20 m<sup>3</sup>/ha vinhaça concentrada, T<sub>4</sub>: 200 kg ureia/ha, T<sub>5</sub>: Testemunha.

#### **4.5 Variações no carbono solúvel do solo**

Na comparação de médias de tratamentos para carbono solúvel verificaram-se maiores valores na vinhaça concentrada (T<sub>3</sub>), aos 8, 22, 30 35 e 209 dias após aplicação (Tabela 10). No entanto, de modo geral, houve forte tendência de maior concentração de C solúvel quando vinhaça foi aplicada ao solo, o que respaldaria a hipótese de maiores perdas de N por desnitrificação em função da aplicação da vinhaça junto com a ureia.

**Tabela 10:** Influência dos tratamentos nos teores de **carbono solúvel** em: (mg C/ kg-solo seco), nas diferentes épocas, no teste de Tukey, a 5% de significância no teste F.

Época	Tratamentos (mg C/ kg-solo seco)					Estatística	
Dap	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	Pr > F	DSM
1	3,21B	10,95AB	0,27B	15,66A	3,90B	0,0540	11,2955
4	103,90A	140,33A	131,13A	95,23A	93,72A	0,1570	70,532
6	119,77A	94,20A	128,73A	97,03A	93,50A	0,3330	69,197
8	113,58AB	105,87AB	119,43A	93,30B	93,60B	0,0260	25,732
12	112,42A	89,63A	123,47A	118,32A	89,60A	0,3820	71,747
22	112,42A	89,59AB	106,81A	88,47AB	75,13B	0,0192	31,201
30	116,21A	81,44AB	62,28B	105,60A	60,67B	0,0030	37,659
35	102,67A	123,33A	112,53A	136,03AB	106,07A	0,1470	43,970
43	103,70A	98,20A	117,27A	107,97A	92,07A	0,3430	40,867
49	120,40A	80,80A	110,23A	111,00A	100,21A	0,6120	87,892
57	109,27A	104,30A	107,67A	112,67A	89,97A	0,3420	37,493
64	105,50A	103,90A	115,67A	115,70A	113,43A	0,7490	40,194
71	94,40A	120,03A	108,43A	119,03A	101,23A	0,0440	27,045
78	94,73A	120,03A	108,43A	116,20A	101,23A	0,0740	28,352
106	108,43A	97,20A	108,23A	96,40A	108,23A	0,5635	40,114
141	87,53B	84,07B	99,20A	88,17B	89,62B	0,0015	6,644
162	60,77A	61,73A	89,51A	92,31A	87,57A	0,5370	83,888
204	59,30A	73,93A	76,10A	90,91A	88,07A	0,5090	65,211
209	92,70B	107,47A	95,98B	88,53B	88,57B	0,0010	10,989
245	81,03A	86,53A	95,87A	89,53A	85,63A	0,3330	23,086
294	96,33A	92,37A	0,000B	82,23A	85,63A	<,0001	23,661
347	95,57A	95,69A	84,25AB	83,57AB	68,61B	0,0130	22,361

Onde: Dap: Dias após a coleta, T<sub>1</sub>: 120 m<sup>3</sup>/ha vinhaça *in natura*, T<sub>2</sub>: 20 m<sup>3</sup>/ha vinhaça + 60 kg de ureia, T<sub>3</sub>: 20 m<sup>3</sup>/ha vinhaça concentrada, T<sub>4</sub>: 200 kg ureia/ha, T<sub>5</sub>: Testemunha.

#### **4.6 Avaliações dos efeitos das variáveis de solo na emissão de N<sub>2</sub>O para atmosfera.**

O efeito positivo das variáveis N-NO<sub>3</sub>, C-solúvel e umidade do solo nas emissões de N<sub>2</sub>O é esperado, porque a maior umidade significa maior espaço de poros ocupado por água. A maior concentração de carbono solúvel implica em carga orgânica que favorece na condição de desnitrificação.

Neste estudo fica evidente que as variáveis que ajudaram a obter emissões mais altas de N<sub>2</sub>O foram o nitrato, carbono solúvel e a umidade, a primeira sendo o acceptor de elétrons na cadeia respiratória anaeróbia facultativa, a segunda como fonte de energia e poder redutor e a última, que limita a disponibilidade de O<sub>2</sub> no solo, tornando o ambiente favorável a desnitrificação.

A quantidade de água no solo é o fator que influencia a emissão de óxido nitroso nos solos (SMITH et al. 2003). A difusividade de gases como o oxigênio interfere nos processos de nitrificação e desnitrificação. Segundo Keller et al.(2005), mostram que podem-se emitir uma quantidade maior de gases nitrogenados em solos com maior umidade, do que em solos com pouca quantidade de água.

Como a vinhaça frequentemente contém ao redor de 1 a 2 % de carbono solúvel e a água da lavagem da cana também é contaminada com algum açúcar, os aumentos no teor de C lábil seriam explicados pela adição de vinhaça, e por conseqüência, maiores emissões de N<sub>2</sub>O seriam esperadas, havendo nitrato disponível no solo (CARMO et al., 2013).

#### **4.7 Fatores de Emissão**

Durante o período de estudo, os diferentes tratamentos perderam entre 24,5 a 40,4 (mg N m<sup>-2</sup>) na forma de N<sub>2</sub>O. Essas perdas são relativamente baixas se comparado ao observado por outros autores (CARMO et al, 2013; OLIVEIRA et al., 2013), o que pode estar associado a baixa frequência de chuvas na região, especialmente após a aplicação dos tratamentos.

Considerando-se as doses de N aplicadas em cada tratamento, essas quantidades de N perdidas representaram percentagens entre 0,14 a 0,59 %, indicando que o fator de

emissão tem menos relação com a dose de N, sendo mais dependente da fonte e interação entre fontes (Tabela 11). No caso da vinhaça, (PAREDES et al., 2014) mostraram que o fator de emissão médio é próximo de 2 %, porém com uma grande incerteza em função dos diferentes números apresentados nos estudos realizados até o momento. Os fatores de emissão para vinhaça conseguidos neste estudo se aproximam dos obtidos por (OLIVEIRA et al., 2013).

**Tabela 11:** Fator de emissão para cada tratamento

<b>Parâmetro</b>	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>	<b>T<sub>3</sub></b>	<b>T<sub>4</sub></b>	<b>T<sub>5</sub></b>
Emissão (mg N/m <sup>2</sup> )	35,30	35,50	38,10	40,40	24,50
Emissão líquida (g N/m <sup>2</sup> /dia)	0,0109	0,0110	0,0137	0,0159	0,00
(g N aplicado/m <sup>2</sup> )	5,12	7,76	2,32	8,80	0,00
<b>EF (%)</b>	<b>0,21</b>	<b>0,14</b>	<b>0,59</b>	<b>0,18</b>	

Onde: T<sub>1</sub>: 120 m<sup>3</sup>/ha vinhaça *in natura*, T<sub>2</sub>: 20 m<sup>3</sup>/ha vinhaça + 60 kg de ureia,  
T<sub>3</sub>: 20 m<sup>3</sup>/ha vinhaça concentrada, T<sub>4</sub>: 200 kg ureia/ha, T<sub>5</sub>: Testemunha.

A vinhaça concentrada tem maior fator de emissão, porém as quantidades aplicadas são menores, e sendo menor a dose de N é de se esperar que sua utilização tenha impacto semelhante ao da vinhaça convencional. A uréia como fonte de N apresentou baixos fatores de emissão, em relação ao que o IPCC (2006) estima como um número global, porém estão alinhados com o que tem sido observado para outras culturas e também para cana-de-açúcar em solos brasileiros (ALVES et al 2012; CARMO et al, 2013).

A vinhaça concentrada apresentou o maior fator de emissão (0,59%), diferente dos demais. Ureia, vinhaça e vinhaça+ureia não foram diferentes entre si. Entretanto, todos os tratamentos apresentam-se maiores que a testemunha (Tabela 11).

## 4.8 Produtividade

Na tabela 12 são apresentados os resultados de produtividade de colmos em função dos tratamentos aplicados na cultura da cana-de-açúcar. Os resultados estão dentro dos valores encontrados em canaviais comerciais de alta produtividade, exceto o tratamento controle, cuja produtividade foi próxima de 70 Mg/ha. Tais resultados foram submetidos à análise estatística, o que permitiu classificar o comportamento da planta em cada tratamento aplicado.

Observou-se maiores produtividades para T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> e T<sub>4</sub> (130 a 136 mg/ha). Conforme o esperado, a produtividade para T<sub>5</sub> (testemunha) foi menor, devido não ter recebido nenhuma fonte de nutrientes, demonstrando assim o acréscimo na produtividade causado pela adição de nutrientes no solo. Entretanto para T<sub>1</sub> (vinhaça *in natura*) verificou-se uma produtividade menor do que as encontradas para T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> e T<sub>4</sub>, o que poderia estar relacionado à menor quantidade de nitrogênio aplicada.

**Tabela 12:** Produtividade de colmos pela cana-de-açúcar submetida a diferentes tratamentos de fertilização nitrogenada e irrigação com vinhaça.

Tratamentos (TCH)(mg/ha)					Estatística	
T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	Pr > F	DSM
105,84B	135,94 A	132,21 A	130,19A	71,30C	0,0001	9,29

Onde:

T<sub>1</sub>: 120 m<sup>3</sup>/ha vinhaça *in natura*; T<sub>2</sub>: 20 m<sup>3</sup>/ha vinhaça + 60 kg de ureia; T<sub>3</sub>: 20m<sup>3</sup>/ha vinhaça concentrada; T<sub>4</sub>: 200 kg ureia/ha; T<sub>5</sub>: Testemunha. Dados coletados em experimento, médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, no teste F.

## 5. CONCLUSÕES

5.1 Os resultados de 11 meses de estudo, em solos de cana de açúcar, no ciclo de cana soca, apresentaram os seguintes fatores de emissão: 0,21 % para o tratamento com vinhaça *in-natura*, 0,14% para a vinhaça com ureia, 0,18 % para o tratamento com ureia apenas, e no caso da vinhaça concentrada o fator de emissão alcançou um máximo de 0,59. Esses fatores de emissão de N<sub>2</sub>O no solo para fertilização nitrogenada com ureia e de vinhaça encontrados nesse estudo ficaram abaixo do fator de emissão default da guia para elaboração de inventários do Painel Intergovernamental de Mudanças (IPCC, 2006).

5.2 Os resultados dos fluxos de N<sub>2</sub>O e das variáveis do sistema relacionadas ao processo de produção de gás no solo indicam que a vinhaça funciona como fonte de C que induz rápida transformação do N existente no solo, levando a perdas na forma de N<sub>2</sub>O e possivelmente na forma de N<sub>2</sub>. A adição de fertilizantes aumenta a disponibilidade de N no solo intensificando o processo.

## 6. REFERÊNCIAS

ALVES, B. J. R.; SOARES, L. H. de B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; PAREDES, D. da S.; LIENDO, G. S. P.; TOMAZ, E.; SILVA, F. C. da. Emissões evitadas de gases efeito estufa promovidas pelo uso de etanol de cana-de-açúcar em veículos automotores, *Alcoolbrás*, São Paulo, n. 136, p. 59-63, 2012.

ALVES, B.J R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). Manejo de sistemas agrícolas: impacto do seqüestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa. Porto Alegre: Genesis, p.81-89,2006.

ALVES, B,J,R; JANTALIA,C.P; MADARI,B; MACAHADO, P.L.O; FRANCHINI, J.C; SANTOS, H.P,dos ; BODDEY,R.M; URQUIAGA,S Emissões de óxido nitroso de solos pelo uso de fertilizantes nitrogenados em áreas agrícolas,Seropédica,Embrapa Agrobiologia, 2010.(Embrapa Agrobiologica.Comunicado Técnico nº 126).

ANDRADE, J. M. F. de; DINIZ, K. M. Impactos Ambientais da Agroindústria da cana-de-açúcar: Subsídios para a Gestão. Monografia apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, 131p, 2007.

BNDES, CGEE. Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável / organização BNDES e CGEE. Rio de Janeiro: BNDES, 316 p, 2008.

BRASIL. Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980. Estabelece a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura, e dá outras providências, Brasília, 1980.

CARMO,J.B.S; FILOSOFO,L.C; ZOTARELI,E; SOUSA NETO,L,M; PITOMBO,P,J;DUARTE NETO,V,P;VARGAS,C,A;ANDRADE,G,J,C;GAVA,R;ROSETTO,H;CANTARELLA,A;ELIAS NETO,A;MARTINELLI,L,A.In- Field greenhouse gás emissions from sugarcane soils in Brazil:effects from syntheticand organic fertilizer application and crop trash accumulation. *GlobalChangeBiology Bionergy*,v.5,p.267-280,2013.

CERRI, C.E.P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W.E.;MELILLO, J.M.; CERRI, C.C. Tropical agriculture and global warming:impacts and mitigation options. *Sci. Agric.*, v.64, p.83-99, 2007.

CETESB. Norma P4. 231, de dezembro de 2006. Vinhaça: critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. Estabelece as normas da CETESB. Acesso em 20 jul. 2011.

CLAROS, G. J. C; VON SPERLING, E. Emissão de gases de efeito estufa no ciclo de vida do etanol: estimativa nas fases de agricultura e industrialização em Minas Gerais, 2010.

CRUTZEN, P. J. The influence of nitrogen oxides on the atmospheric ozone content, Q. J. Roy. Meteor. Soc, 96, p.320–325, 1970.

CRUTZEN, P.J.; MOSIER, A.R; SMITH, K.A; WINIWARTER, W., N<sub>2</sub>O release from agrobiofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. Atmospheric Chemistry and Physics 8p.389-395,2008.

ELIA NETO, A; NAKAHODO, T. Caracterização físico-química da vinhaça projeto nº 9500278. Relatório Técnico da Seção de Tecnologia de Tratamento de Águas do Centro de Tecnologia. Copersucar, Piracicaba. 26p, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **EMBRAPA**: Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos: Brasília DF: Embrapa, 2013. 353 p: Site :<http://livraria.sct.embrapa.br/livresumos/pdf/00053080.pdf>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **EMBRAPA**: Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos: Rio de Janeiro. 412p, 1999.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIS DE QUEIROZ”: **ESALQ**: Mapa de solos da ESALQ/USP. Departamento de Solos e Nutrição de Plantas (ESALQ/USP) Org. VIDAL P; TORRADO L; OLIVEIRA F.E, SPAROVEK G; COOPER M: Piracicaba: Dezembro: 2004, 103p.

GIANCHINI, C. F. Benefícios da utilização de vinhaça em terras de plantio de cana-de-açúcar – Revisão de literatura. Revista Científica eletrônica de agronomia. Garça, SP 2009. 15. ed. Disponível em: <[www.revista.inf.br/agro15/revisao/REVLIT01.pdf](http://www.revista.inf.br/agro15/revisao/REVLIT01.pdf)>. Acesso em: 19 set. 2011.

GLORIA, N.A. da SANTA ANA, A.G.; BIAGI, E. 1973. Composição dos resíduos de usina de açúcar e destiladas. Brasil Açucareiro. 81 (6): 78-87.

GLÓRIA, N.A. da. Emprego da vinhaça para fertilização. Piracicaba, Codistil, 50p, 1976.

GLÓRIA, N.A.; MAGRO, J.A. Utilização agrícola de resíduos da usina de açúcar e destilaria na Usina da Pedra. In: Seminário Copersucar da agroindústria açucareira, 4., Águas de Lindóia, 1976. Anais. São Paulo, Copersucar, p. 163-180, 1977.

GLÓRIA, N.A.; ORLANDO FILHO, J. Aplicação de vinhaça: um resumo e discussões sobre o que foi pesquisado. Alcool e açúcar, v.4, n.15, p.22-31, 1984.

GUTIERREZ, L.E.; FERRARI, S.E.; GERALD, L.T.S. e ORELLI JR, A.A. Efeito da aplicação da vinhaça como fertilizante sobre os teores de ácido trans-aconítico de caldo de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp).An. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” [online]. 1988, vol.45, p. 453-462.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE** :Sistema IBGE de Recuperação Automática. Endereço: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/>>: acesso em Março,2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA. **INMETRO PBE**: Programa Brasileiro de Etiquetagem:Tabelas de Consumo e Eficiência Energética de Veículos Automotores Leves: 2012: <[http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos\\_leves\\_2012.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos_leves_2012.pdf) .

INTERNATIONAL PANEL FOR CLIMATE CHANGE. **IPCC**: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]: Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and New York: NY, USA. 996 pp, 2007.

INTERNATIONAL PANEL FOR CLIMATE CHANGE **IPCC**: The Science of Climate Change: Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Cambridge University Press: New York: 572 pp, 1996.

INTERNATIONAL PANEL FOR CLIMATE CHANGE. **IPCC**: In: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm>: 2006a (Consultado em 01.07.2013).

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **IPCC**. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Reference Manual: Disponível em <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl>, 2006b: (Consultado em 05.08.2013).

LISBOA, C. C.; BUTTERBACH-BAHL, K.; MAUDER, M.; KIESE, R. Bioethanol production from sugarcane and emissions of greenhouses gases – Known and unknowns. Global Change Biology Bioenergy, Washington, v. 3, p. 277-292, 2011.

MACEDO, I.C.; SEABRA, J.E.A.; SILVA, E.A.R. Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. Biomass and Bioenergy, v.32, p.582-595. 2008.

MADARI, B.E.; DA COSTA,A.R; **JANTALIA,C.P.** DE ALMEIDA P.L.; DA CUNHA M.B; O MARTINS,D.B.; DOS SANTOS,J.H; ALVES,B.J.R. Fator de Emissão de Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O), Goiás, GO, Comunicado Técnico 144:Embrapa,2007.

MARQUES, M. O. Aspectos técnicos e legais da produção, transporte e aplicação de vinhaça. In: SEGATO, S. V. et al. (Org.). Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 369-375.

MORAIS, R.F.;BODDEY,R.;URQUIAGA,S;JANTALIA,C;ALVES,B Ammonia volatilization and nitrous oxide emissions during soil preparation and N fertilization of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Soil Biology & Biochemistry* 64 (2013), 80-88p.

NUNES JR, D. Efeitos da elevada deposição de vinhaça sobre variedades de cana-de-açúcar. São Paulo, 1987, p;38-44. (Boletim Técnico da Coopersucar, 37).

OLIVEIRA, M. D. Sugarcane and Ethanol Production and Carbon Dioxide Balances. In: D. Pimentel (Ed.), *Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems*. New York: Springer, p.215-230, 2008.d

OLIVEIRA, M.D.; VAUGHAN, B.E.; RYKIEL Jr., E.J. Ethanol as fuel: Energy, carbon dioxide balances and ecological footprint. *BioScience*, v.55, p.593-602, 2005.

ORLANDO FILHO, J. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: Câmara, G. M. S. & Oliveira, E. A. M. (eds). *Produção de cana-de-açúcar*. Piracicaba: FEALQ/USP, 1993. p. 133-146.

PAREDES, D. Emissão de óxido nitroso e metano proveniente da vinhaça em lagoas e canais de distribuição e após fertiirrigação. 2011.90p. Dissertação (Mestrado em Ciências)-Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica.2011.

PENATTI, C. P. Adubação da cana-de-açúcar: 30 anos de experiência. Itu (SP): Ottoni editora, 348p. 2013.

PENATTI, C. P.; ARAÚJO, J.V.; FORTI, J. A.; RIBEIRO, R. Doses de vinhaça e nitrogênio aplicadas em cana-soca durante quatro safras em solo LV – Usina São José da Estiva. *STAB. Açúcar e Álcool e subprodutos*, Piracicaba, v. 19, n. 5, p. 38-41, maio/jun. 2001.

PENATTI, C. P.; CAMBRIA, S.; BONI, P. S.; ARRUDA, F. C. O.; MANOEL, L. A. Efeitos da aplicação de vinhaça e nitrogênio na soqueira da cana-de-açúcar. São Paulo, 1988. p. 32-38. (Boletim Técnico da Coopersucar, 44).

PIMENTEL, D; PATZEK, T. Ethanol Production: Energy and Economic Issues Related to U.S. and Brazilian Sugarcane. *Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems*, 2008, pp 357-371.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2ª ed. rev.atual. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. 285p. (Boletim Técnico 100)

RESENDE, S. A., SANTOS, A.; XAVIER, R. P.; COELHO, C. H.; GONDIM, A.; OLIVEIRA, O. C.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura na região de campos Goytacazes. Revista Brasileira de Ciência do Solo, (Dezembro, 2006).

SÃO PAULO. CETESB. Vinhaça: critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. São Paulo, 2006.

SIGNOR, D. Estoque de carbono e nitrogênio e emissões de gases de efeito estufa em áreas de cana-de-açúcar na região de Piracicaba . 2010.120 p. Dissertação (Mestrado em Ciências, Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

SILVA, F. C. da (org.) Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes, Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes / editor técnico, Fábio Cesar da Silva. - 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p

SILVA, G.M.A. Influência da adubação na qualidade da cana-de-açúcar. In: ORLANDO, J, coord. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba , Instituto do Açúcar e Álcool, 1983. 369p.

SOARES, L. H. B.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Mitigação das Emissões de Gases Efeito Estufa pelo Uso de Etanol da Cana-de-açúcar Produzido no Brasil. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 14 p. (Circular Técnica, 27), 2009.

SORDI, A; DIECKOW, J; MOARAES, A; JONATAS, T; MARCIO,A; CIMÉLIO,B; MICHELY Emissão de óxido nitroso a partir de urina e esterco de bovinos em pastagem. **Anais do XXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, SBCS, Uberlândia-MG, agosto de 2010. CD-ROM.

SOUSA, N.R.E. de, Fluxos de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a partir de um solo cultivado com cana de açúcar sob diversos tratos culturais .2008.84f. Dissertação (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura CENA, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z.; GWARY, D.; JANZEN, H.; KUMAR, P.; MCCARL, B.; OGLE, S.; O'MARA, F.; RICE, C.; SCHOLLES, SIROTENKO, O.; HOWDEN, ;MCALLISTER, T.; PAN, G.; ROMANENKOV, V.; SCHNEIDER, U.; TOWPRAYOON, S.; WATTENBACH, M.; SMITH, J. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society London* v. 363, p. 789–813, 2008.

STUPIELLO, J.P.; PEXE, C.A.; MONTEIRO, H.; SILVA, L.H. Efeitos da aplicação da vinhaça como fertilizante na qualidade da cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, 90(3): 185-94, 1977.

U.S. AND BRAZILIAN SUGARCANE. In: D. Pimentel (Ed.), *Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems*. New York: Springer, p.357-371, 2008.

ÚNICA, União da Indústria da Cana de Açúcar, Relatórios sobre a evolução da safra atual no Brasil. [www.unica.com.br](http://www.unica.com.br).

URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Produção de biocombustíveis - A questão do balanço energético. *Revista de Política Agrícola*, v.14, p.42-46, 2005.

VARGAS, V. P. Gases de Efeito Estufa de solos cultivados com cana de açúcar: fertilizante nitrogenada, palhada e inoculação. 2013. 128p. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas, p.180-181, Campinas, 2013.

VASCONCELOS, Y. Emissões do pior gás causador do efeito estufa pela cana-de-açúcar são menores do que se estimava. *Canavial mais limpo*, Revista Fapesp, São Paulo, 2012.

XAVIER, T. Vinhaça *in natura* e biodigerida concentrada: efeitos nas características químicas e bioquímicas do solo e no crescimento inicial da cana-de-açúcar. SP. 2012. 68f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Jaboticabal. 2012.

ZUCHELLO, F. Emissões de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes - RJ. 2010.55 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2010.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A

– Dados meteorológicos registrados na estação meteorológica da ESALQ/USP Departamento de Engenharia de Biossistemas.

<b>DATA</b>	<b>T<sub>média</sub></b> <b>°C</b>	<b>UR<sub>méd</sub></b> <b>(%)</b>	<b>V</b> <b>(m/s)</b>	<b>T<sub>max</sub></b> <b>°C</b>	<b>UR<sub>Max</sub></b> <b>(%)</b>	<b>V<sub>max</sub></b> <b>(m/s)</b>	<b>T<sub>min</sub></b> <b>°C</b>	<b>UR<sub>min</sub></b> <b>(%)</b>	<b>Chuva</b> <b>(mm)</b>
06/12/12	0	91,90	0,80	35,10	100,00	10,70	21,90	49,10	4,90
07/12/12	27,80	86,60	0,90	34,50	100,00	12,20	21,90	52,00	0,00
08/12/12	29,00	83,80	1,30	37,20	100,00	7,70	23,30	47,80	0,00
09/12/12	27,10	89,30	1,20	34,20	100,00	10,00	22,50	59,60	0,00
10/12/12	27,90	81,30	0,60	35,30	100,00	5,50	20,00	49,40	0,00
11/12/12	28,20	84,70	1,80	34,70	100,00	10,70	22,10	62,10	6,20
12/12/12	26,80	86,80	0,60	35,70	100,00	10,00	21,60	46,90	0,60
13/12/12	25,90	92,90	0,90	33,70	100,00	9,20	21,00	54,90	9,40
14/12/12	24,40	99,90	1,20	30,10	100,00	7,70	22,10	76,00	14,50
15/12/12	23,30	99,90	0,90	27,10	100,00	10,00	21,20	95,70	25,40
18/12/12	24,90	94,20	0,50	30,40	100,00	4,70	20,10	68,30	0,10
21/12/12	27,10	89,60	1,00	35,70	100,00	11,50	21,30	50,90	26,20
28/12/12	24,20	97,30	1,00	29,80	100,00	8,50	20,60	69,50	0,80
05/01/13	26,50	90,40	0,70	34,70	100,00	6,20	19,50	56,80	0,00
10/01/13	22,50	99,90	1,60	25,20	100,00	8,50	19,20	88,10	1,50
18/01/13	24,90	87,70	0,70	33,30	100,00	7,70	18,00	46,10	5,20
24/01/13	25,90	93,70	0,50	33,40	100,00	7,00	19,70	65,50	0,00
01/02/13	25,50	97,40	0,70	32,60	100,00	7,70	21,40	69,40	2,90
08/02/13	22,50	99,90	0,70	27,70	100,00	5,50	19,70	83,10	14,50
15/02/13	27,00	93,20	0,90	36,30	100,00	11,50	22,40	57,00	3,10
01/03/13	25,50	91,60	1,20	32,20	100,00	7,70	21,00	64,90	0,00
08/03/13	28,30	86,20	1,00	36,80	100,00	7,70	20,90	53,10	0,00
20/03/13	21,50	99,90	0,80	25,20	100,00	4,70	18,50	94,50	1,70
27/03/13	23,40	96,10	1,10	31,60	100,00	6,20	19,30	61,90	0,10
05/04/13	24,50	99,90	0,90	29,30	100,00	8,50	21,00	86,30	48,90
12/04/13	25,40	98,40	0,80	31,50	100,00	7,00	20,80	78,90	1,70
17/05/13	20,10	92,90	2,00	24,20	100,00	7,00	16,00	76,50	0,00
28/06/13	22,50	99,90	0,30	29,60	100,00	3,20	17,00	68,20	0,10
08/08/13	21,90	75,40	1,10	31,10	100,00	8,50	13,00	42,20	0,00
26/09/13	16,90	75,70	2,80	24,60	100,00	10,70	11,40	39,10	0,00
18/11/13	23,90	84,90	0,90	30,60	100,00	4,70	16,90	58,30	0,00

## APÊNDICE B

### – Características do solo (Morfológicas)

A:0-15cm; 5YR 3/4(cor seca); textura média; estrutura forte blocos grandes angulares compactado; consistência muito duro (seco); friável (úmido); ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico (molhado); cerosidade pouca e fraca; transição gradual.

AB:15-30 cm; 5YR 3/4 (cor seca); textura argilosa; estrutura forte blocos grandes a médios sub angulares; consistência dura (seco); ligeiramente firme (úmido); pegajoso e plástico (molhado); cerosidade ausente; transição clara.

Bt130-90 cm; 5YR 3/4 (cor seca); textura argilosa; estrutura forte blocos angulares grandes a médios; consistência dura (seco); firme (úmido); pegajoso e plástico (molhado); cerosidade forte e comum; transição difusa.

B3 90-+cm; 5YR 3/4 (cor seca); textura argilosa; estrutura moderada blocos sub angulares grandes a médios; consistência macia (seco); firme (úmido); pegajoso e plástico (molhado); cerosidade ausente.

Outras características do solo:

Trincheira – Ponto A7

Localização: Fazenda Areão

Data: Fevereiro de 2014

Classificação: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico

Relevo Local : Suave ondulado

Regional: Suave ondulado

Geologia: Formação Corumbataí

Período: Permiano

Material de origem: Siltito

Clima: Cwa

Vegetação: Café

Drenagem: Boa

Pedregosidade: Não pedregosa

## APÊNDICE C

– Fluxos de N<sub>2</sub>O por épocas. No seguinte apêndice apresenta-se os fluxos de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) com 6 repetições nas diferentes épocas num total de 349 dias.(Do 12/2012 ate 11/2013).

EPOCA	REP.	TRATAMENTO 1	TRATAMENTO 2	TRATAMENTO 3	TRATAMENTO 4	TRATAMENTO 5
(DIAS)		µg N- N <sub>2</sub> O/m <sup>2</sup> h				
1	1	26,16	31,66	96,63	14,28	1,50
1	2	12,72	30,75	24,68	7,28	2,88
1	3	18,24	28,74	69,22	11,90	2,82
1	4	27,22	19,93	13,17	7,04	0,03
1	5	6,18	39,29	14,91	8,81	1,88
1	6	12,61	9,77	15,31	5,59	1,18
4	1	8,68	19,87	49,24	21,13	4,12
4	2	0,74	9,01	12,37	4,75	2,95
4	3	9,73	9,40	17,71	5,35	3,24
4	4	5,86	9,28	12,21	7,84	0,02
4	5	13,03	6,28	16,20	16,78	5,19
4	6	12,03	4,51	11,37	9,15	2,56
6	1	6,15	6,96	12,14	17,41	1,77
6	2	3,11	5,04	14,91	76,55	2,45
6	3	5,86	8,86	9,06	58,16	2,37
6	4	2,40	20,07	14,02	37,96	1,11
6	5	10,05	80,79	20,00	42,04	1,13
6	6	5,86	18,23	31,69	40,70	2,88
8	1	6,00	11,55	10,78	57,51	6,57
8	2	12,49	7,48	7,98	51,65	7,71
8	3	10,52	24,92	11,32	62,18	6,35
8	4	20,19	24,03	9,07	34,84	7,79
8	5	14,99	35,21	3,73	56,80	7,96
8	6	23,75	16,78	3,90	93,09	10,95
12	1	6,15	5,97	6,43	8,12	2,93
12	2	3,11	5,80	2,87	9,15	2,58
12	3	5,86	7,98	7,55	5,22	3,82
12	4	2,40	3,76	1,88	6,03	5,42
12	5	10,05	6,08	5,38	12,42	4,39
12	6	5,86	5,54	3,72	11,74	

EPOCA	REP.	TRATAMENTO	TRATAMENTO	TRATAMENTO	TRATAMENTO	TRATAMENTO
		1	2	3	4	5
(DIAS)		$\mu\text{g N- N}_2\text{O/m}^2\text{h}$				
22	1	2,79	1,16	6,65	5,13	8,74
22	2	3,23	3,17	6,57	8,44	6,57
22	3	4,06	5,68	4,17	3,45	4,30
22	4	-3,66	0,83	5,04	6,59	2,10
22	5	6,10	11,39	7,62	2,04	4,55
22	6	1,93	11,06	3,00	4,17	1,19
30	1	6,08	5,04	9,69	7,95	1,93
30	2	7,47	6,71	10,49	8,08	6,73
30	3	6,06	9,42	6,25	8,08	5,47
30	4	5,56	1,43	16,78	-2,08	5,23
30	5	2,71	-4,06	16,28	5,84	-2,67
30	6	8,14	7,80	3,67	6,73	-2,48
35	1	3,47	4,40	6,11	7,55	3,19
35	2	17,69	12,98	12,25	17,10	10,61
35	3	5,74	11,09	9,53	9,49	-2,09
35	4	13,22	7,08	10,38	16,11	3,43
35	5	-2,07	6,52	11,22	13,35	2,27
35	6	-3,91	-3,91	3,06	15,21	3,54
43	1	4,27	4,29	7,10	12,49	2,38
43	2	11,85	9,21	1,36	8,16	8,05
43	3	5,37	9,43	7,34	8,07	1,28
43	4	8,84	4,09	5,83	7,04	3,91
43	5	0,13	1,50	9,41	9,02	0,00
43	6	11,33	1,36	9,39	10,33	0,70
49	1	2,99	2,52	-0,61	4,23	2,13
49	2	10,47	4,37	5,81	6,65	-4,80
49	3	6,04	8,60	-6,79	9,23	-2,40
49	4	4,47	5,83	3,41	8,78	7,44
49	5	4,76	12,77	7,36	14,80	7,89
49	6	3,25	11,20	6,51	7,93	8,15
57	1	8,44	3,66	4,99	5,40	6,32
57	2	3,89	3,66	8,97	-3,13	5,21
57	3	9,07	7,68	1,11	6,10	3,92
57	4	9,48	3,63	2,91	-5,47	5,84
57	5	1,48	4,45	4,53	-5,59	4,39
57	6	6,19	-1,04	5,39	1,64	-0,28

EPOCA	REP.	TRATAMENTO 1	TRATAMENTO 2	TRATAMENTO 3	TRATAMENTO 4	TRATAMENTO 5
(DIAS)		$\mu\text{g N- N}_2\text{O/m}^2\text{h}$				
64	1	6,18	3,35	12,05	16,22	2,91
64	2	12,83	14,76	4,80	8,95	2,03
64	3	-3,88	4,97	5,91	6,77	4,65
64	4	1,11	8,99	2,91	5,05	7,00
64	5	4,88	-1,26	4,53	2,14	-0,69
64	6	3,42	5,28	5,39	0,90	2,47
71	1	7,44	3,88	6,88	-2,88	4,38
71	2	3,42	11,44	8,90	4,92	-2,06
71	3	9,66	13,40	3,86	-2,55	8,07
71	4	2,01	8,84	14,72	-3,13	2,36
71	5	14,86	6,99	-6,08	1,00	4,01
71	6	3,37	4,27	1,97	3,23	1,10
78	1	8,08	1,88	2,38	6,49	0,12
78	2	2,20	4,66	-1,45	9,10	1,59
78	3	10,43	-1,07	6,11	2,49	-5,45
78	4	0,81	0,61	9,01	0,93	3,19
78	5	-3,19	-2,72	9,27	-0,32	1,19
78	6	3,36	-2,81	3,53	2,23	0,41
106	1	2,26	4,03	6,69	-0,78	1,96
106	2	2,12	13,24	4,41	5,65	7,79
106	3	19,65	7,71	-1,90	0,58	-2,27
106	4	6,91	4,23	3,02	-7,07	4,63
106	5	4,63	4,51	4,33	0,94	3,99
106	6	4,95	7,97	4,99	-4,17	3,42
141	1	2,26	4,03	6,69	-0,78	1,96
141	2	2,12	13,24	4,41	5,65	7,79
141	3	19,65	7,71	-1,90	0,58	-6,27
141	4	6,91	4,23	3,02	-5,07	4,63
141	5	4,63	4,51	4,33	0,94	3,99
141	6	4,95	7,97	4,99	-4,17	3,42
162	1	5,61	7,88	0,54	6,36	0,56
162	2	6,49	2,69	10,72	-3,42	6,42
162	3	8,24	6,93	0,52	4,42	-0,44
162	4	1,21	1,92	1,86	5,11	6,34
162	5	3,42	5,36	9,17	1,45	7,24
162	6	1,65	1,48	5,59	0,86	10,43

EPOCA	REP.	TRATAMENTO 1	TRATAMENTO 2	TRATAMENTO 3	TRATAMENTO	TRATAMENTO 5
		$\mu\text{g N- N}_2\text{O/m}^2\text{h}$				
(DIAS)						
204	2	-5,17	4,26	4,38	9,25	-2,25
204	3	3,30	5,76	-5,77	3,92	6,34
204	4	2,42	5,21	3,55	3,04	2,00
204	5	2,42	1,62	3,08	-7,59	2,40
204	6	-4,94	-0,75	4,77	1,25	0,36
209	1	3,42	2,12	2,99	2,34	-4,30
209	2	-3,17	0,00	3,25	3,25	0,46
209	3	3,80	2,51	5,25	9,25	1,34
209	4	2,04	0,00	0,55	0,33	-4,30
209	5	2,82	1,23	6,50	8,50	0,46
209	6	-3,94	0,00	4,58	0,00	1,12
245	1	-6,78	-5,39	3,56	-3,58	-9,46
245	2	4,38	-3,55	8,99	2,32	-4,88
245	3	6,30	7,83	10,58	6,36	8,69
245	4	13,57	2,51	3,99	14,32	8,70
245	5	12,16	2,76	10,13	8,00	5,81
245	6	15,93	6,67	12,24	6,30	10,05
294	1	-1,36	-3,10	1,62	0,26	3,60
294	2	-0,13	-1,10	1,07	2,09	2,72
294	3	4,95	0,03	-2,92	2,13	1,63
294	4	-1,40	-2,86	4,54	0,13	-2,13
294	5	3,05	-0,62	4,08	1,34	2,41
294	6	-3,81	0,51	2,64	5,12	5,43
347	1	-2,66	-4,22	-1,21	-1,33	-3,74
347	2	0,91	-1,19	2,83	3,50	-1,42
347	3	5,28	2,41	1,67	8,92	5,52
347	4	5,71	5,18	6,99	6,75	3,25
347	5	6,87	4,54	6,53	-3,90	6,04
347	6	4,44	5,51	6,98	4,96	6,54

