

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Curso de Graduação em Geografia

**ANÁLISE DAS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA
NA PRODUÇÃO DO MILHO ATRAVÉS DA FERTILIZAÇÃO
POR RESÍDUO DE BIOCOMBUSTÍVEL.
ESTUDO DE CASO: DEDELOW, BRANDEMBURGO - ALEMANHA**

Ana Beatriz Brugugnolli Seron

Orientadora: Prof(a).Dr(a). Iara Regina Nocentini André

Co-orientadora: Dra. Ulrike Hagemann

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

ANA BEATRIZ BRUGUGNOLLI SERON

**ANÁLISE DAS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA
NA PRODUÇÃO DO MILHO ATRAVÉS DA FERTILIZAÇÃO
POR RESÍDUOS DE BIOCOMBUSTÍVEL.
ESTUDO DE CASO: DEDELOW – BRANDEMBURGO - ALEMANHA**

Trabalho de Graduação apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Rio Claro - SP
2013

ANA BEATRIZ BRUGUGNOLLI SERON

**ANÁLISE DAS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA
NA PRODUÇÃO DO MILHO ATRAVÉS DA FERTILIZAÇÃO
POR RESÍDUOS DE BIOCOMBUSTÍVEL.
ESTUDO DE CASO: DEDELOW – BRANDEMBURGO - ALEMANHA**

Trabalho de Graduação apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Comissão Examinadora

_____ (orientador)

Rio Claro, ____ de _____ de _____.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, a Deus pela vida, por todas as minhas conquistas pessoais e profissionais, e por ter colocado em meu caminho pessoas tão especiais, sem as quais não seria possível a realização deste trabalho. A estas pessoas, meus sinceros agradecimentos.

Agradeço à Unesp – campus Rio Claro e a todo o corpo docente da Geografia, por ter proporcionado as ferramentas necessárias para minha formação profissional, e ao pessoal da sessão técnica de graduação, sempre colaborando para que nenhum prazo fosse perdido.

À professora doutora Lara Nocentini, pela orientação, compreensão e apoio para a conclusão deste trabalho.

Ao programa de intercâmbio IAESTE e a todos os envolvidos neste processo, pela oportunidade de uma experiência de vida inigualável e inesquecível.

Ao Instituto ZALF, pela oportunidade do estágio e realização da pesquisa, à Ulrike XX pela orientação e aos pesquisadores Mathias Hoffman, Anika Meiser, Monique Andres, entre todos, pelos momentos de aprendizado e diversão durante o período de intercâmbio na Alemanha.

Aos meus pais, Eugênio e Rosângela por todos os ensinamentos de vida, por acreditarem em mim e nunca medir esforços para a minha realização e satisfação pessoal e profissional, e ao Guilherme, meu irmão ‘gordo’ pelo carinho e confiança. Aos meus avôs, pelo orgulho que tem de mim.

À minha grande amiga Bruna Maria, pelos incríveis anos de convivência, pelo aprendizado, pelas aventuras, e apoio nas horas difíceis e ao Pedro Kochi, pela amizade, carinho, caronas e por nos fazer acreditar no curso. À república Desapego, por me proporcionar o amadurecimento pessoal.

Ao Gabriel, pelo companheirismo, pelo amor, pela confiança e por acreditar na Geografia.

E, finalmente, a todos aqueles que participaram destes sete anos de graduação, que direta ou indiretamente colaboraram para minha formação.

“A melhor de todas as coisas é aprender. O dinheiro pode ser perdido ou roubado, a saúde e a força podem falhar, mas o que você dedicou à sua mente é seu pra sempre.”

Louis L' Amour

Resumo

O foco de investigação deste estudo foram as trocas gasosas entre solo e atmosfera de óxido nitroso (N_2O) entre diferentes tratamentos de fertilização do milho. A pesquisa, realizada no campo experimental de Dedelow – Brandenburgo/Alemanha analisou três diferentes tratamentos de fertilização, com o objetivo de quantificar as emissões do gás do efeito estufa N_2O , para identificar a influência do resíduo de biocombustível no processo de liberação desses gases em solos agrícolas, na busca por uma solução de fertilização menos prejudicial ao meio ambiente e ao efeito estufa, partindo da comparação entre três tratamentos: fertilização orgânica, fertilização mineral e sem fertilização. Constatou-se, através das análises das medições que o primeiro foi o que mais emitiu N_2O , demonstrando que mesmo sendo advindo do resíduo de biocombustível, quando devolvido para o solo, torna-se nocivo ao meio ambiente e ao efeito estufa. O cultivo de culturas energéticas pode reduzir ou elevar as emissões de gases do efeito estufa, daí a necessidade de aprofundar pesquisas sobre essa questão, não só na Alemanha, onde essa pesquisa está em continuidade, mas também no Brasil, pioneiro na introdução em sua matriz energética de um biocombustível produzido a partir da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: Efeito estufa. Emissão de N_2O . Fertilização com resíduo de biocombustível.

Abstract

The focus of this research study were gas exchange between soil and atmosphere of nitrous oxide (N_2O) between different fertilization treatments Corn The research, conducted in the experimental field Dedelow - Brandenburg / Germany, analyzed three different fertilization treatments, aiming to quantify GHE emissions, to identify the influence of the residue of biogas in the release of these gases process in agricultural soils in search for a solution fertilization less harmful to the environment and the greenhouse effect , based on the comparison of three treatments: organic fertilization, mineral fertilization and no fertilization. It was found through the analysis of the measurements that the first was the one which issued N_2O , showing that even though coming from the residue of biogas , when returned to the soil, it becomes harmful to the environment and global warming . The cultivation of energy crops can lower or raise the emissions of greenhouse gases, so it is necessary for further research on this question not only in Germany , where such research is in continuity, but also in Brazil, a pioneer in the introduction to his energy matrix of a biofuel produced from cane sugar.

Key-words: Greenhouse effect. N_2O emissions. Biogas residue fertilization.

Sumário

| | | |
|------|--|----|
| 1. | Introdução..... | 6 |
| 1.1. | O Efeito Estufa e a história | 8 |
| 1.2. | Um pouco mais de história..... | 11 |
| 2. | Objetivos Gerais | 16 |
| 2.1. | Objetivos Específicos..... | 16 |
| 3. | Caracterização da Área de Estudo..... | 17 |
| 4. | Materiais e Métodos..... | 19 |
| 4.1. | Variáveis e fertilização..... | 19 |
| 4.2. | Delineamento experimental | 20 |
| 4.3. | Período de medição | 22 |
| 4.4. | Óxido nitroso | 22 |
| 4.5. | Análise das amostras..... | 25 |
| 4.6. | Cálculo dos fluxos de N ₂ O | 25 |
| 4.7. | Parâmetros de controle | 26 |
| 4.8. | Software e estatística..... | 28 |
| 5. | Resultados..... | 29 |
| 5.1. | Parametros meteorológicos..... | 29 |
| 5.2. | Parametros do solo | 31 |
| 5.3. | Oxido Nitroso..... | 33 |
| 6. | Considerações finais..... | 37 |
| | Referencias..... | 39 |

1. Introdução

Atualmente há um consenso entre vários estudos, mostrando que o aquecimento global e as mudanças climáticas são, dentre os problemas ambientais, um dos mais relevantes e merecedores de atenção especial, a fim de que se possa encontrar os caminhos para a redução das emissões dos gases do efeito estufa (GEE). Na verdade, trata-se de um desafio mundial mitigar tais emissões.

Fontes de energia renováveis são cultivadas em aproximadamente 1/5 das áreas cultivadas agrícolas da Alemanha, e, aproximadamente 90% da área cultivada é destinada a culturas energéticas (FRN, 2010). Sabendo disso, foi grande interesse de participar de um intercâmbio de estágio profissional, neste país, proporcionado pelo programa IAESTE (*International Association for the Exchange of students for Technical Experience*), que oferece experiências de estágio profissional no exterior dentro da área de formação, em parceria com a Universidade Estadual Paulista (Unesp), no qual poderíamos realizar um trabalho diferenciado, com o objetivo de obter experiência profissional internacional e aperfeiçoar a fluência em idiomas.

Nosso entusiasmo perante a vaga de estágio se deu pela dimensão e importância do estudo, no qual seria possível identificar os diferentes níveis de emissão de GEE, através do monitoramento de plantações, de acordo com a fertilização. Além disso, como estudante de geografia, sempre me interessei por vivenciar a pesquisa, como aprofundamento da teoria.

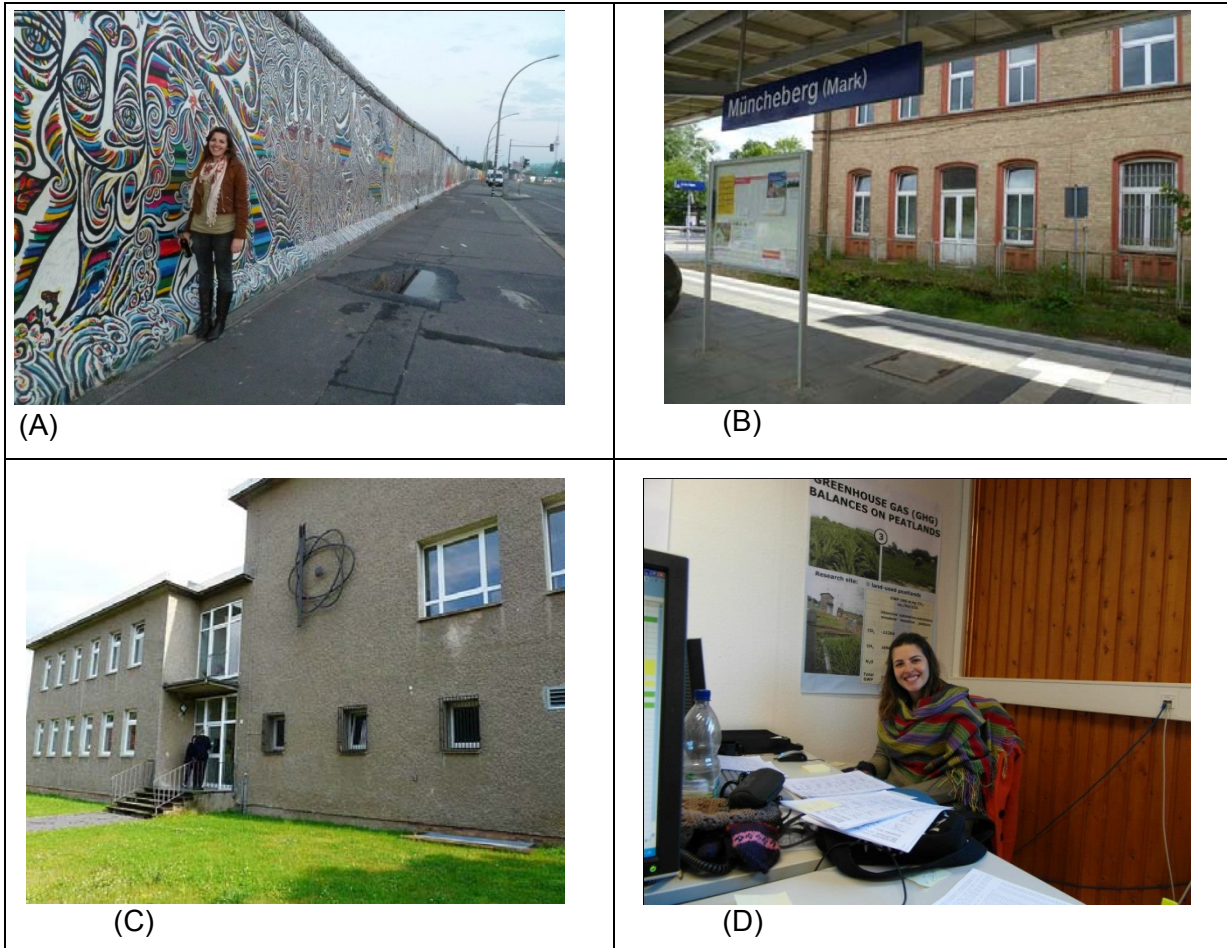
Participar dessa proposta só foi possível pelas condições oferecidas pelo IAESTE, pois durante os seis meses que durou o estágio, no período de julho a dezembro de 2012, recebemos um auxílio financeiro no valor de 600 (seiscentos) euros, financiados pelo DAAD, o órgão responsável por estudantes estrangeiros da Alemanha, com o qual pudemos nos manter com tranquilidade.

E assim, dentre as vagas de estágio oferecidas, foi possível escolher o Instituto ZALF – Centro Leibnitz de Pesquisa da Paisagem Agrária, localizado em Müncheberg, no estado alemão de Brandemburgo, distante cerca de 50 km da capital, onde residimos e tomamos a decisão de qual seria o tema de nosso trabalho de conclusão de curso, pois fizemos parte de uma equipe de estudos que tratou de um provável caminho para mitigar emissões de GEE: a produção de biocombustíveis

advinda das culturas energéticas, que representa a redução de CO_2 , CH_4 e N_2O na atmosfera, através da substituição de combustíveis fósseis por fontes de energia limpa, que se distingue por não liberar quantidade significativa de gases traços na atmosfera, além de dificultar a liberação desses gases por evitar a queima de combustíveis fósseis.

Neste estudo de caso, verificamos o impacto da fertilização com resíduo de fermentação de biocombustível na emissão de gases do efeito estufa na produção do milho, na fazenda experimental do ZALF, localizada em Dedelow, cidade situada no nordeste da Alemanha, distante 114 km de Berlim. O trabalho consistiu em avaliar a Emissão de gases do efeito estufa na Produção de Biocombustível, através da análise da quantificação da dinâmica sazonal e as trocas de N_2O na cultura de milho utilizado para a produção do biocombustível, comparando a cultura sem fertilização, com fertilização mineral e a fertilização orgânica, com resíduos de fermentação de biocombustível.

Figura 1: Em (A): Muro de Berlim; em (B): Estação de trem em Müncheberg, em (C): Sede do departamento de análise da paisagem agrícola; em (D): escritório de estudos e análises dos dados.



Fonte: Acervo pessoal

1.1. O Efeito Estufa e a história

Sabemos que o aumento da temperatura terrestre é provocado pelo efeito estufa, fenômeno natural e importante para a vida no planeta, porém motivo de preocupações desde 1957, quando um estudo do oceanógrafo americano Roger Revelle mostrou que as emissões de CO_2 estavam afetando a temperatura, fato que não despertou grande curiosidade na sociedade acadêmica. A partir daí, foram muitas as descobertas e especulações sobre aquecimento global, mas foi somente na década de 80, que um grande número de cientistas confirmou ser este um problema real. Isso foi corroborado, quando em 1985, descobriu-se um buraco na

camada de ozônio, provocado por emissões humanas de clorofluorcarbonetos (CFC), responsáveis por causar sérios danos à atmosfera.

De lá para cá, muitos foram os tratados assinados pelas grandes potências mundiais, que começaram a se reunir para discutir possíveis soluções ou medidas, na tentativa de reduzir as emissões dos gases do efeito estufa na atmosfera. O primeiro foi o Protocolo de Montreal, assinado em 1987, eliminando o uso de CFC nas indústrias do mundo todo. No ano seguinte, realizou-se uma conferência científica convocada pela Organização Meteorológica Mundial, em Villach, na Áustria, que resultou na criação de um comitê para avaliar a literatura sobre mudanças climáticas, quando se chegou à conclusão de que alguma medida para a diminuição do aquecimento global era inevitável. Esse comitê é o Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC), constituído ainda no ano de 1988.

Desde então, o IPCC tornou-se a referência mais respeitada com relação ao aquecimento global, e tem como objetivo reunir cientistas do mundo todo, para discutir e avaliar todas as informações científicas disponíveis sobre o aquecimento global e as mudanças climáticas, com posterior elaboração de relatórios sobre o assunto.

Sobre ele, nos diz Cláudio Angelo, em seu livro “O Aquecimento Global”:

O Painel do Clima das Nações Unidas, composto de cerca de 2 mil cientistas, é uma espécie de oráculo do futuro climático da Terra. A cada cinco anos, o IPCC produz um grande relatório sobre as mudanças globais do clima. Cada relatório se divide em três partes: a primeira explora a base física do fenômeno; a segunda lida com os impactos do aquecimento sobre ecossistemas e sociedades; e a terceira, com formas de mitigar a tragédia. (ANGELO, 2010. p. 52)

Não há como ignorar a importância desse órgão da ONU que desde 1990, ano em que produziu seu 1º relatório, até 2007, ano de publicação do 4º e último relatório até o momento, tem sido responsável pelo encaminhamento de conclusões importantes sobre as mudanças globais do clima aos governos, para orientar a políticas públicas na área. Como por exemplo, o 2º relatório, no ano de 1996, que forneceu as informações cruciais para o estabelecimento do Protocolo de Kyoto, criado durante a terceira reunião da Conferência das Partes, que é o

encontro anual entre países membros da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC – sigla em inglês), ratificado durante a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 92), com o objetivo de estabelecer os tópicos acerca do tema, sendo papel dos protocolos definirem as diretrizes específicas.

Ficou estabelecido no Protocolo de Kyoto um termo de compromisso assinado por 38 países, os quais se comprometiam a reduzir as emissões anuais de gases de efeito estufa no período de 2008 a 2012 numa média de 5,2% abaixo das referentes ao ano de 1990. As metas de redução de gases não são homogêneas a todos os países, colocando níveis diferenciados de redução entre os países componentes. (MCTI, 2008)

Este tratado discute, ainda, incentivo e medidas para a substituição de práticas nocivas por outras que provoquem menos impacto ao meio ambiente. Foram estabelecidos três mecanismos de flexibilização que visam à redução de custos da mitigação do efeito estufa nos países com compromisso: 1. Implementação conjunta, a qual possibilita aos países acordados a flexibilidade para adquirir ou transferir entre si os créditos de carbono para seus compromissos de redução; 2. Mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), que permite aos países industrializados financiar projetos de redução das emissões em países emergentes, a fim de que estes tenham a possibilidade de construir um desenvolvimento sustentável. Em contrapartida, os países desenvolvidos podem cumprir seu compromisso de redução; 3. Comércio internacional de emissões, que permite a alguns países comercializarem entre si as quotas de emissão de gases-estufa.

Os mecanismos de redução de gases-estufa em grandes escalas, contudo, não é uma questão a ser tratada somente a nível nacional. Deve-se pensar no indivíduo. O homem deve assumir a responsabilidade por seus atos, pois desde um agricultor familiar, que queima a lenha ou desmata uma pequena área para plantio, passando por uma frota de ônibus movidos a combustíveis fósseis, até uma grande indústria que libera CO₂ na atmosfera, todos somos responsáveis por liberar gases poluentes nesta camada de ar, essencial para a sobrevivência dos seres vivos, e que se estende somente cerca de 6 km de altitude. Dentro dessa fina camada de ar estão

todos os gases de descarte provenientes da atividade humana, que afetam sobremaneira todo o planeta.

O impacto provocado pelo homem ao meio ambiente é consequência do uso incorreto dos recursos naturais, o que gera a degradação ambiental, devido à negligência dos aspectos ecológicos e tecnológicos da sociedade. As atividades econômicas, o crescimento populacional, o desenvolvimento agrônomo, o desmatamento das florestas, o uso excessivo de combustíveis fósseis e de outras práticas geram um exacerbado contingente de emissão de gases de efeito estufa.

1.2. Um pouco mais de história

A emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) antropogênico aumentou assustadoramente desde a Revolução Industrial, em meados do século XIX. Para o CH_4 , isso se deve, predominantemente, pela queima de combustíveis fósseis e agricultura, e para o N_2O , o aumento se deve especialmente pela intensificação da agricultura e ao uso de fertilizantes (IPCC, 2007).

Apesar da baixa concentração de CH_4 e N_2O na atmosfera, 1,774ppb (partes por bilhão) e 319 ppb respectivamente, esses gases tem um Potencial de Aquecimento Global (GWP) significativamente alto quando comparado ao CO_2 . O GWP de um gás é definido pelo potencial específico de contribuir com o aquecimento global, provocado pela habilidade individual de absorver radiação e produzir calor em relação à vida útil da molécula de gás. Sendo o GWP do dióxido de carbono igual a 1, o do metano 21, e o do óxido nitroso 310, significa que o metano (CH_4) absorve cerca de 21 vezes mais radiação infravermelha do que o CO_2 , e o óxido nitroso absorve cerca de 310 vezes, respectivamente, considerando o horizonte de tempo de 100 anos. (CETESB, 2012)

Para reduzir a queima de combustíveis fósseis e o crescimento associado de uma grande quantidade de GEE, fontes de energia renováveis estão se tornando cada vez mais necessárias, como por exemplo, a produção de biocombustível, produzido por plantas energéticas, como a cana de açúcar, utilizada, pioneiramente pelo Brasil; milho e sorgo, utilizados pela Alemanha, país em que, como já foi mencionado, durante cinco meses de estágio, de agosto a dezembro de 2012,

podemos acompanhar o desenvolvimento de diversas pesquisas relacionadas à emissão de gases do efeito estufa, participando de trabalho de campo, em Dedelowe em outros campos experimentais, bem como em laboratório, trabalhando com SOFTWARES para o tratamento dos dados coletados, os quais foram utilizados nesta pesquisa.

Atualmente, fontes de energias renováveis são cultivadas em aproximadamente 1/5 das áreas agrícolas alemãs e, aproximadamente 90% destas áreas são destinadas a culturas energéticas (FRN, 2010).

A produção do biocombustível gera também um subproduto, que equivale a 29 milhões/m³ de resíduos de biogás por ano (WEILAND, 2006). Devido às altas concentrações de NH₄ e outros nutrientes, este resíduo pode ser utilizado como fertilizante orgânico (GERICKE, 2011), fato de grande importância, já que ocasiona a diminuição no uso de combustíveis fósseis e fertilizantes minerais, os quais requerem alta quantidade de energia e levam a altas emissões de GEE durante o processo de produção.

Portanto, segundo Möller (2009), pode-se dizer que biocombustível e resíduos de biogás diminuem as emissões de GEE, e conseqüentemente, contribuem para a proteção climática. Por esta razão, as culturas energéticas, especialmente o milho, com 46%, são a principal fonte de elementos para a produção do biocombustível na Alemanha. (WEILAND 2006).

Após a penetração no solo, porém, o resíduo de biogás aplicado é afetado por diferentes processos microbiológicos, como nitrificação e desnitrificação, implicando na liberação de diversos gases, entre eles, o aumento de concentrações de N₂O. Não foi o que descobriu ARTHURSON (2009), pois este não encontrou diferença de rendimento significativo entre tratamento de fertilização por resíduo de biogás comparado com o adubo convencional. Em comparação, Möller (2009) encontrou rendimentos ligeiramente melhores em tratamentos com fertilização por resíduos de biogás.

Nosso estudo pretende iniciar a análise sobre a emissão de gases do efeito estufa na fertilização de culturas energéticas pelo resíduo de biocombustível, com a intenção de descobrir a validade do biocombustível nas alterações efeito estufa e consequente aquecimento global.

Na Alemanha, a agricultura é responsável por cerca de 15% das emissões de gases do efeito estufa provocados pelo homem. Enquanto que a parcela de emissões de CO₂ na atmosfera é apenas de 3%, o CH₄ libera 45% e N₂O é responsável por 52% das emissões. (MEISER, 2012)

Uma vez que CH₄ e N₂O têm 30 e 300 vezes, respectivamente, mais efeito nas alterações climáticas do planeta (AUGUSTIN, 2011), deve-se ter atenção especial no que concerne às práticas agrícolas. Particularmente, com o crescimento do cultivo de culturas energéticas, espera-se a redução de emissões de gases do efeito estufa e, portanto, que se forneça subsídios necessários para que se atinjam as metas políticas propostas pelo governo alemão, no que diz respeito ao Protocolo de Kyoto, o qual prevê para o ano de 2020, a redução de 40% das emissões de gases do efeito estufa na atmosfera, em comparação aos anos 1990. (BMU, 2009; IPCC, 2007)

Concomitantemente, estudos revelam um alto potencial de emissões de gases do efeito estufa na atmosfera em consequência do cultivo de culturas energéticas. Fato que se deve à fertilização externa, cuja liberação de N₂O torna-se potencialmente maior na produção da primeira geração de biocombustíveis. (CRUTZEN et.al., 2008)

Searchinger e Fargione (2008) detectaram elevada liberação de CO₂ com a expansão do cultivo de plantas energéticas, pois quando há o preparo do solo, como o desmatamento e posterior revolvimento da terra, a oxigenação deste aumenta, elevando, assim, a atividade microbiana, com consequentes quedas de material orgânico no solo e perdas de carbono para a atmosfera, o que contribui para o aquecimento global.

Entretanto, após a legislação sobre energias renováveis, instaurada no ano 2000, e, especialmente, devido à primeira Emenda em 2004, o número de usinas de biogás aumentou exponencialmente no país. Em 2011, mais de 7000 usinas estavam em atividade (FACHVERBAND BIOGAS, 2012). Juntamente com a fabricação do biocombustível, um subproduto também é produzido, o resíduo deste é responsável por uma produção de 29 milhões de quilos de resíduo excedente por metro cúbico ao ano. (WEILAND, 2006). Devido a grandes quantidades de amônia (NH₄) e outros nutrientes, este resíduo pode ser utilizado como fertilizante orgânico.

(GERICKE, 2011). Isto representa uma alternativa disponível para o uso de fertilizantes minerais (MIN), cujo processo de fabricação requer atividade intensa de energia e, conseqüentemente, possui alto impacto no efeito estufa nessa fase do seu ciclo de vida.

Como os resíduos de fermentação do biocombustível contém grande quantidade de nutrientes, possuem também alta proporção de carbono e nitrogênio disponíveis, o que acelera a atividade microbiana no solo, levando à elevadas emissões de gases-traço. Essas complexas moléculas orgânicas são transformadas em biocombustível (CH_4 e CO_2) e resíduos de fermentação por vários microorganismos sob condições anaeróbicas (WEILAND, 2010). Durante este processo, os componentes orgânicos, ricos em nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio, são mineralizados, resultando nos resíduos fermentados de biocombustível. (ARTHURSOON, 2009)

A maior parte do óxido nitroso (N_2O) liberado é formado nos solos durante os processos de nitrificação e desnitrificação, ambos com a participação de microorganismos. Nitrificação é o processo de oxidação da amônia (NH_4) em nitrato (NO_3), através da ação de bactérias para que se torne possível a assimilação pelas plantas. As taxas de nitrificação são, geralmente, maiores quando a umidade do solo é menor que a capacidade de campo, ou seja, a máxima quantidade de água que o solo pode reter, e é praticamente nula em solos saturados devido à falta de oxigênio. (SANGER, 2011)

Se houver deficiência de oxigênio, as bactérias de fixação do nitrogênio são capazes de desnitrificar após a oxidação da amônia (NH_4) e, conseqüentemente, transformá-la em óxido nitroso (N_2O). Por outro lado, a desnitrificação ocorre, predominantemente, sob condições anaeróbicas e se intensifica com o aumento do teor de umidade no solo. (DITTERT & MUHLING, 2009). Este processo se refere à conversão do nitrato ou nitrito ao elemento nitrogênio. Os fatores que conduzem para o processo de desnitrificação são alta disponibilidade de NO_2 que são facilmente convertidos a substâncias de carbono (como contidas em resíduos de fermentação de biogás) as quais representam a base nutritiva para esta bactéria. (DITTERT & SENBAYRAM, 2012). De qualquer maneira, taxas elevadas de desnitrificação nem sempre representam maiores perdas de N_2O dos solos, assim

como a relação entre Carbono e Nitrogênio é crucial como principal regulador das perdas de N_2O e N através da desnitrificação. (WEIER et. al., 1993)

Uma vez que o maior objetivo da produção de culturas energéticas é o aproveitamento máximo do metano, a plantação geralmente requer altas quantidades de herbicidas e pesticidas e, especialmente, um alto consumo de fertilizantes. Isto leva a perdas de N_2O devido a rotatividade dos compostos de nitrogênio durante os processos biológicos no solo, estudados anteriormente, nitrificação e desnitrificação.

Smeets (2009) ilustra que o óxido nitroso (N_2O) contribui com 10% a 80% das emissões totais de gases do efeito estufa na atmosfera, devido à produção de biocombustíveis. Daí a necessidade de aprofundar pesquisas sobre como a produção de biogás e o cultivo de culturas energéticas podem reduzir ou elevar as emissões de gases do efeito estufa.

Neste sentido, para este estudo, analisamos a dinâmica sazonal, extensão dos fluxos de gases traços, causada pela aplicação de resíduos de fermentação de biocombustível na plantação de milho no campo experimental de Dedelow – Brandenburgo/Alemanha. Nesta pesquisa visamos quantificar as trocas cumulativas de N_2O no cultivo do milho em diferentes tratamentos de fertilização, comparando a adubação mineral e adubação por resíduos de fermentação do biocombustível.

2. Objetivos Gerais

No presente estudo analisamos a dinâmica sazonal, extensão dos fluxos de gases-traço, causada pela aplicação de resíduos de fermentação de biocombustível na plantação de milho no campo experimental de Delelow, Brandemburgo – Alemanha. Nesta pesquisa tivemos como objetivo a quantificação das trocas cumulativas de N_2O no cultivo do milho em diferentes tratamentos de fertilização, comparando a adubação mineral e a adubação por resíduos de fermentação do biocombustível.

2.1. Objetivos Específicos

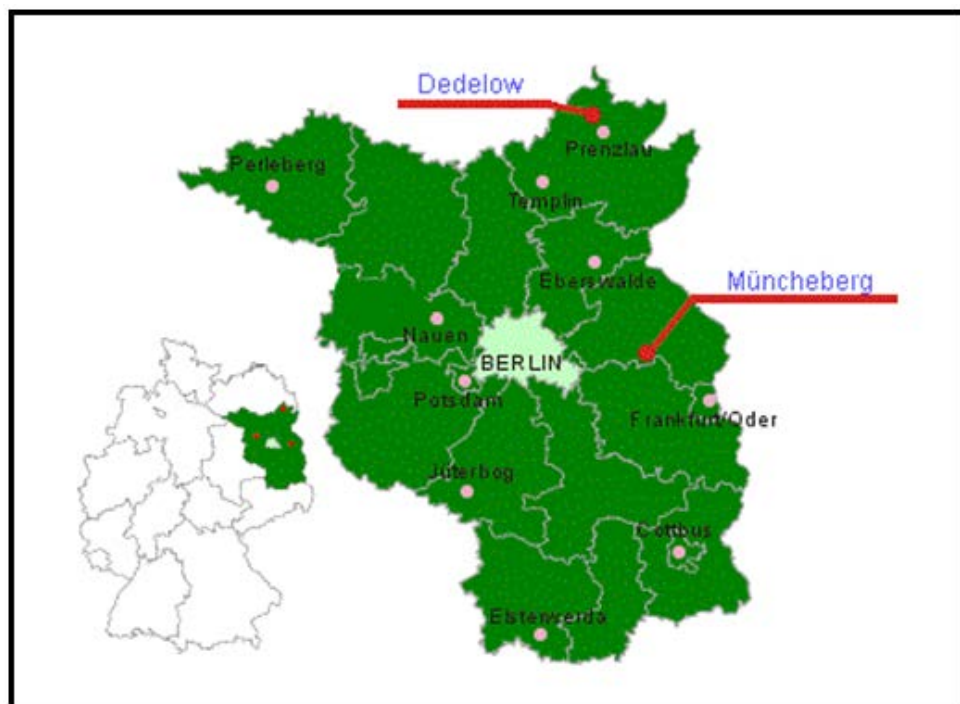
- Verificar se heterogeneidades locais relacionadas ao microclima e condições de solo influenciam nos fatores de emissões de Gases do Efeito Estufa.
- Identificar os principais fatores de emissões de GEE relacionadas à aplicação dos resíduos de fermentação do biocombustível.

3. Caracterização da Área de Estudo

As medições foram realizadas na fazenda experimental localizada em Dedelow, uma pequena cidade situada na parte nordeste do estado de Brandenburgo, na Alemanha. A estação de pesquisa colabora estreitamente com institutos do centro de pesquisa ZALF e.V., onde o estágio foi realizado, e possui diversas áreas de projetos de pesquisa, dentre as quais, a denominada *Großer Gärrest*, cujo projeto desenvolve pesquisa sobre biodigestores de biocombustível e utilizei os dados para esta pesquisa. Está sob as coordenadas geográficas 53 ° 22' N, 13 ° 48', a uma altitude de cerca de 60 metros acima do nível do mar.

A região de Uckermark, a qual Dedelow pertence, possui uma paisagem intensamente agrícola, apresentando uma topografia de planície glacial, caracterizada por solos bem drenados e argilosos (Verch et. Ai. 2009). O tipo de solo é classificado como LuvisoloHáplico (FAO, 1998). A área de estudo tem inclinação em direção noroeste, exposta a ventos desta direção. A figura 3 dá uma visão geral sobre o local do campo experimental em Dedelow.

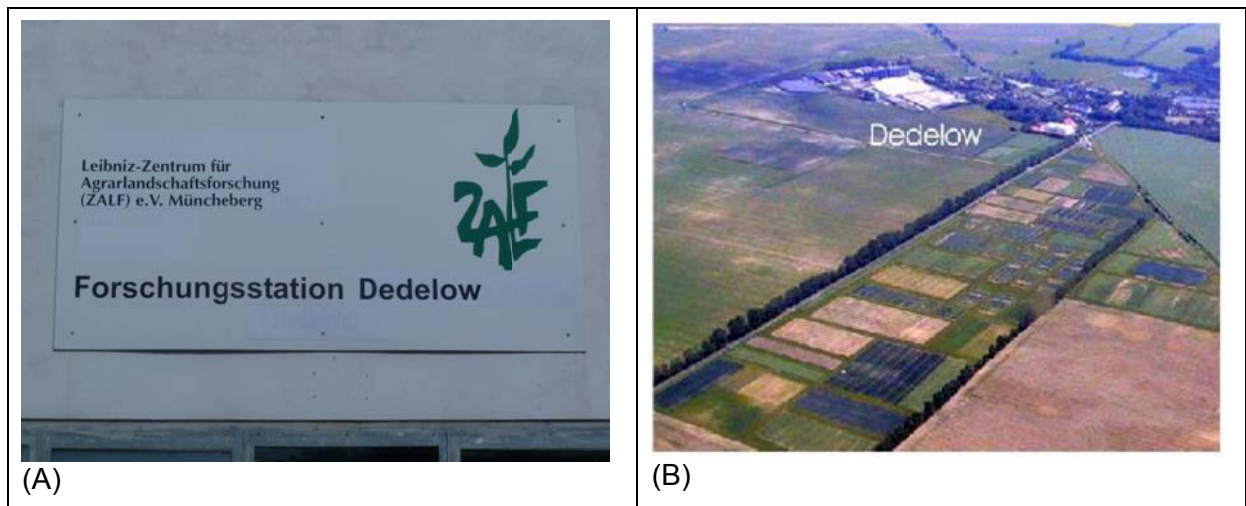
Figura 2: Localização da área de estudo: sede do ZALF em Müncheberg e fazenda experimental em Dedelow



Fonte: < <http://www.zalf.de/> >

A região é influenciada pela transição entre os climas oceânico e continental, levando a condições de clima seco na primavera e um grande período de extremo frio durante o inverno (ZALF, 2012). De acordo com a estação climática do ZALF, situada em Dedelow, as médias anuais de temperatura e precipitação são, respectivamente: 8,4°C e menos de 500 milímetros. A quantidade de precipitação do período de vegetação (maio a outubro) é de 347 milímetros.

Figura 3: Em (A): “Estação de pesquisa” Dedelow; Em (B): Foto aérea da fazenda experimental – Dedelow/2012



Fonte: acervo pessoal / “Projeto Große Garrëst” - ZALF, 2012

4. Materiais e Métodos

Na pesquisa tomamos como base medições realizadas durante o período que envolve o processo de cultivo do milho, compreendido entre os meses de Maio a Outubro, do ano de 2012, em uma fazenda experimental na cidade de Dedelow, localizada no norte da Alemanha, a 117 km de sua capital, Berlim. As campanhas de medições ocorreram mensalmente, exceto na aplicação do fertilizante, que, por ser um evento de alteração do ambiente, foram realizadas duas medições no mesmo mês, com distância de sete dias entre elas.

O foco de investigação deste estudo foram as trocas gasosas entre solo e atmosfera de óxido nitroso (N_2O) entre diferentes tratamentos de fertilização do milho. Consideraram-se positivos os fluxos de emissão do solo para a atmosfera, enquanto que os fluxos direcionados da atmosfera para o solo foram considerados negativos.

Neste tópico, discutiremos os métodos aplicados na pesquisa, enfatizando os utilizados para a medição do N_2O , alvo da investigação. Na pesquisa analisamos três diferentes tratamentos de fertilização, com o objetivo de quantificar as emissões de N_2O e identificar a influência do resíduo de biocombustível no processo de liberação de gases do efeito estufa em solos agrícolas, na busca por uma solução de fertilização menos prejudicial ao meio ambiente e ao efeito estufa.

4.1. Variáveis e fertilização

Para avaliar o impacto da fertilização com resíduo de biocombustível (fertilização orgânica) no cultivo do milho, partimos da comparação entre três tratamentos: fertilização orgânica, fertilização mineral e sem fertilização, nomeados, DG6, DG2 e DG1, respectivamente, referindo-se à disposição espacial geográfica das amostras.

Para a amostra de fertilização mineral, foram utilizados 160 quilos de nitrogênio por hectare, valor usualmente utilizado no cultivo do milho. A porcentagem de resíduo de biocombustível refere-se à quantidade correspondente de nitrogênio do fertilizante mineral. Apenas 70% do teor de Nitrogênio da adubação orgânica

estão disponíveis para as plantas, sendo, então, tratado como *Ndp* (Nitrogênio disponível para as plantas). Os valores de *Ndp* para a investigação estão listados na Tabela 1.

A composição do adubo orgânico utilizado nas amostras é uma mistura de esterco de gado e silagem de milho, proveniente de uma fazenda próxima da área de estudo. O fertilizante foi aplicado com mangueiras de arrasto, de modo a homogeneizar a distribuição dos nutrientes no solo. Cada um dos tratamentos utilizou um tanque de chorume derivado da mistura entre esterco de gado e silo vegetal. Como mostrado na Tabela 2.1, a quantidade de Nitrogênio disponível para as plantas (*Ndp*) corresponde a 70% da quantidade total de nitrogênio aplicado na fertilização.

Tabela1: Tratamentos e fertilização aplicados em Dedelow no ano de 2012.

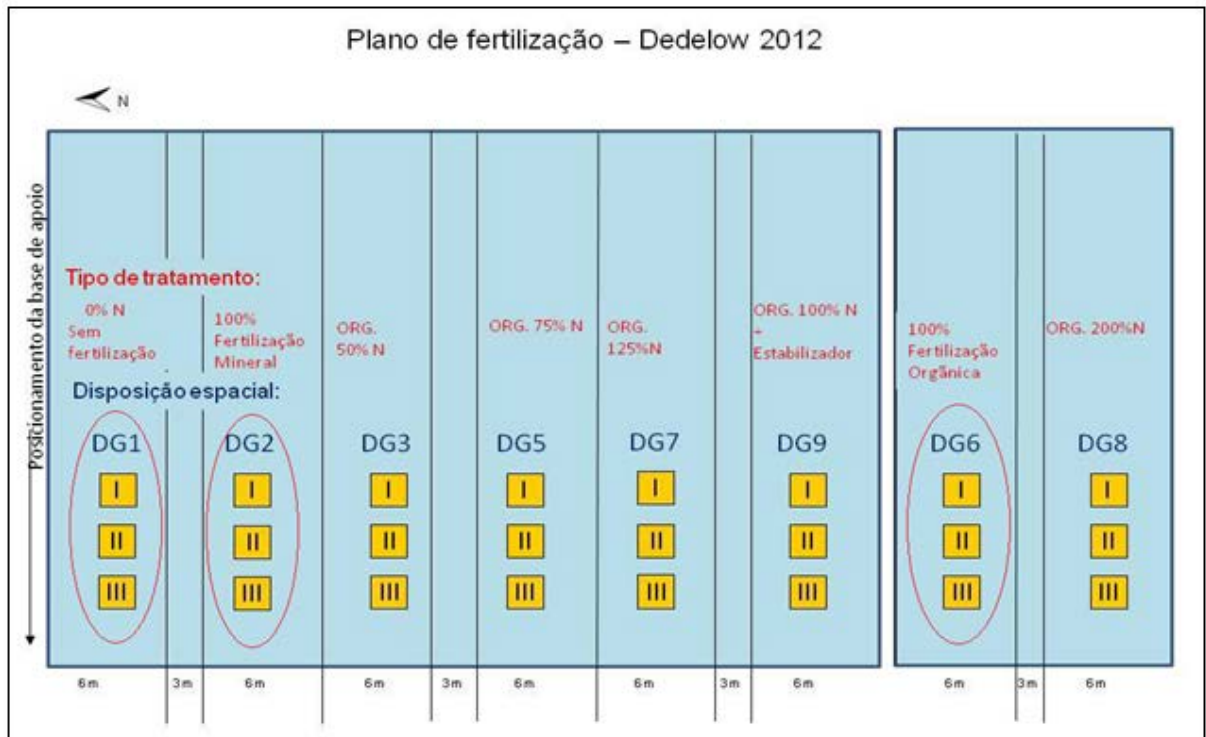
| Tratamento | Fertilizante aplicado | N total(kg) | Ndp(kg) | Diferença de Npd (%) |
|------------|---------------------------|-------------|---------|----------------------|
| DG 1 | Sem fertilização | 0 | 0 | 0 |
| DG 2 | Mineral | 160 | 112 | 70 |
| DG 6 | Resíduo de biocombustível | 175 | 122,5 | 70 |

Fonte: "Projeto *Große Garrëst*" - ZALF, 2012

4.2. Delineamento experimental

A disposição espacial dos tratamentos dentro da área de investigação não dependeu apenas dos fundamentos da agricultura, nem das estações de pesquisa, mas também levou em consideração pressupostos para não gerar danos ao objeto da pesquisa. Para minimizar prejuízos no crescimento da planta pelas medições, bem como evitar o cruzamento das emissões dos gases do efeito estufa pelo vento, os tratamentos foram ordenados na direção norte-sul, de acordo com o tipo e a quantidade de fertilizante de cada amostra, priorizando a direção do vento. Por ser esta uma fazenda experimental, existem vários estudos sendo realizadas ao mesmo tempo, na mesma área de investigação deste trabalho, sendo assim, a disposição dos tratamentos foi feita de acordo com todos os tratamentos existentes (FIGURA 4), mesmo não sendo feita nenhuma comparação dessas amostras nesta pesquisa.

Figura 4: Plano de fertilização e disposição dos tratamentos na área de estudo em Dedelow, no ano de 2012



Fonte: Projeto *Große Garräst* - ZALF, 2012

Cada tratamento é composto por três amostras diferentes, numeradas de I a III, de modo a intensificar a veracidade dos resultados. A dimensão de cada estrutura é de, aproximadamente, 1 m². A área geral do campo de estudo é, aproximadamente, 40 m². A estrutura física de um tratamento pode ser visualizada na figura 5.

Figura 5: Foto tirada do tratamento no período do plantio – Junho/2012



Fonte: Acervo pessoal

Enquanto as medições de N₂O para cada tratamento foram realizadas três vezes, cada uma em uma única parcela (I-III), os parâmetros de solo foram realizados nas proximidades das amostras, para evitar perturbações no ambiente, concomitantemente às medições.

4.3. Período de medição

No ano de 2012, a aplicação de fertilizantes nos tratamentos do campo experimental de Dedelow, ocorreu em 7 de maio, porém o fertilizante de resíduo de biocombustível foi incorporado um dia depois e as medições de N₂O começaram logo após esta aplicação. (TABELA 2) Como, após a fertilização, são esperadas elevadas emissões (HOFFMAN, 2001), as medições foram repetidas para a aplicação do fertilizante mineral e para a fertilização orgânica. Após a semeadura, realizada no dia 04 de junho, as campanhas de medição dos gases passaram a ser realizadas mensalmente até o término do estudo, em outubro, quando aconteceu a colheita do milho.

Tabela 2. Descrição das atividades por data de realização

| Descrição das atividades | Data de realização |
|------------------------------------|--------------------|
| Início das medições | Maior 2012 |
| Aplicação do fertilizante orgânico | 08/05/2012 |
| Aplicação do fertilizante mineral | 07/05/2012 |
| Plantio | 04/06/2012 |
| Colheita | 24/09/2013 |
| Fim das medições | Outubro/2012 |

Fonte: elaborado pelo autor

4.4. Óxido nitroso

Para a medição dos gases do efeito estufa, no presente trabalho utilizamos o método da câmara fechada, o qual consiste na aquisição dos dados das trocas gasosas devido à projeção de um sistema atmosférico fechado. A câmara impede

que o ar liberado pelo solo entre em contato com a atmosfera, possibilitando as medições pela concentração dos gases num sistema fechado. (LIVINGSTON E HUTCHINSON, 1995)

De acordo com HANSEN, et. al. (1993), a câmara fechada é particularmente útil nos estudos de processos geradores de gases do efeito estufa, ou efeitos nas emissões causados por modificações no ambiente solo-planta.

Este método baseia-se em câmaras, extensões e armações que são feitas, normalmente, de material plástico PVC (cloreto de polivinil), pois este material é resistente à mudança de temperatura, é de fácil construção e instalação, não gerando tantas perturbações em campo, bem como são resistentes às condições ambientais.

A quantidade de extensões utilizadas para as medições deve ser compatível com o objetivo da pesquisa, e de acordo com o crescimento da planta, podem ser usadas até quatro extensões para acomodar a altura. (Figura 6) . Para este estudo, foram utilizadas a princípio, apenas a câmara (no momento do plantio) e 4 extensões na época pré-colheita.

Figura 6: Uso de extensões para a medição dos gases do efeito estufa.

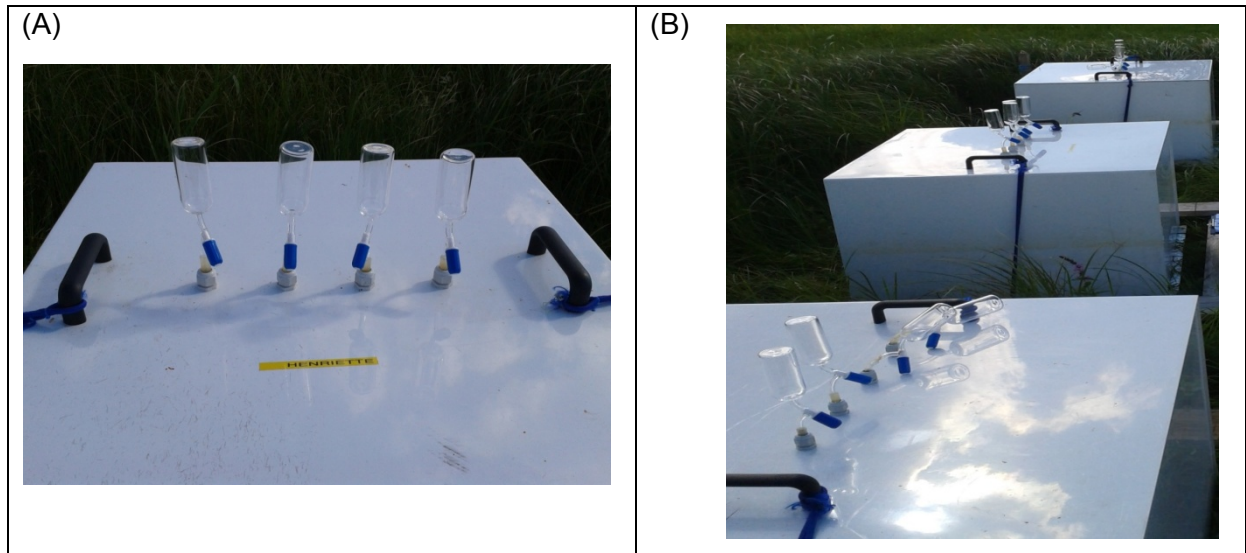


Fonte: Acervo pessoal. Julho/2012

A base que serve de apoio para as câmaras é encaixada superficialmente no solo, numa profundidade de 10 centímetros aproximadamente, a fim de bloquear as trocas gasosas entre o sistema atmosférico criado dentro da câmara e o ambiente envolvente. Para reduzir os transtornos causados pela instalação destes quadros, as medições foram efetuadas depois de dois dias da instalação concluída. As bases foram retiradas temporariamente em três momentos: no preparo do solo para plantio, na aplicação de fertilizantes e para a colheita do milho.

A vedação na extremidade inferior da câmara de ar garante um ajuste apertado desta sobre a moldura. Na parte superior há quatro aberturas, seladas por borracha. Ligados a ela, quatro frascos pré - evacuados de vidro (KHALIL et. al.,2004; SITAULA et. al., 1992) como mostrado na Figura 7.

Figura 7: Em (A): Frascos de vidros utilizados para a captação do N_2O no sistema da câmara fechada; em (B): Medição do N_2O concomitantemente nas três amostras do mesmo tratamento



Fonte: acervo pessoal

A fim de determinar a variação da concentração de gás no interior da câmara ao longo do tempo, os frascos foram abertos, sucessivamente, durante 5 segundos cada, em intervalos de 20 minutos de medições. As três parcelas localizadas dentro de cada tratamento são medidas simultaneamente (Figura 8).

Figura 8: Medição simultânea do N_2O nas três amostras do mesmo tratamento (Fonte: acervo pessoal)

4.5. Análise das amostras

As amostras de gás foram analisadas por cromatografia gasosa, método de identificação de compostos químicos, em um cromatógrafo modelo Shimadzu GC-14^a, equipado com detector de captura de elétrons. A calibração com três gases padrão de uma concentração pré-definida foi feita antes e depois de uma série de medições de 20 amostras para detecção de alterações nas análises. Os níveis de detecção do cromatógrafo de gás utilizado foi de 35 ppb e 19 ppb para CH₄ e N₂O, respectivamente.

4.6. Cálculo dos fluxos de N₂O

O cálculo do fluxo de cada câmara foi realizado por meio de regressão linear e baseada na equação geral de gases, a qual relaciona dados de pressão, volume e temperatura. (equação 1). Os fluxos do óxido nitroso foram calculados sobre as três parcelas de cada tratamento através do Microsoft Office Excel 2003.

Equação 1: Cálculo do fluxo de emissão de N₂O

$$r_{N_2O} = \frac{M \cdot P \cdot V \cdot \Delta C \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3}{R \cdot T \cdot A \cdot t \cdot \text{dim}}$$

Onde:

r_{N_2O} = Massa molar das moléculas de gás ($g \cdot mol^{-1}$)

P : Pressão do ar sob condições normais (101300Pa)

V : Volume do ar

ΔC : Gradiente de concentração de ar em ppm e ppb

f_1 : Fator de conversão de elemento para molécula

f_2 : Fator de conversão de área base em $1m^2$

f_3 : Fator de conversão do tempo de acumulação por 1 hora

R : Constante geral dos gases ($8,3134m^3 \cdot Pa \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$)

T : Temperatura do ar

A : Área base da câmara em m^2

t : Tempo de acumulação das medições em hora

dim : dimensão da concentração do gás em oom e ppb

A concentração de CO₂ foi analisada como parâmetro de controle para identificar potenciais fontes de erro, por exemplo, a troca da ordem das garrafas de vidro ou se houve vazamento na câmara. Como as medições foram realizadas utilizando câmaras opacas (não transparentes), o comportamento esperado da concentração de CO₂ no interior das câmaras era se intensificar, devido à respiração das plantas no microambiente e supressão da fotossíntese. A diminuição das concentrações de CO₂, portanto, indicaram medições errôneas e resultaram na eliminação do respectivo conjunto de dados. As medições também foram eliminadas quando a taxa do fluxo calculado foi menor que o nível de detecção da cromatografia gasosa.

4.7. Parâmetros de controle

Para a análise dos processos de trocas gasosas entre solo e atmosfera, e quantificação das emissões do gás do efeito estufa N₂O foi necessário estabelecer parâmetros que auxiliaram no entendimento das emissões no período da pesquisa. São englobados nesses parâmetros os dados da estação climatológica, a qual apresenta dados de precipitação e temperatura, bem como parâmetros de umidade do solo, medidos por um aparelho digital, o TDR.

4.7.1. Parâmetros meteorológicos

As temperaturas do solo e do ar foram medidas em simultâneo com as medições dos gases-traço. Tal como mostrado na figura 9, três termômetros padrão (Votcraft) foram utilizados para cada tratamento, fixados no solo nas profundidades de 2, 5 e 10 centímetros. Os mesmos termômetros foram utilizados para medir a temperatura do ar envolvente. Concomitantemente a estas medições, a estação climática da fazenda experimental registrava automaticamente os parâmetros meteorológicos a cada hora, tais quais: temperatura do ar, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento, precipitação, numa distância de dois metros acima do solo. Parâmetros diários foram determinados a partir destes valores e foram utilizados para calcular e para discutir as emissões dos gases do efeito estufa.

Figura 8: Termômetros utilizados para medir a temperatura do solo



Fonte: acervo pessoal

4.7.2. Parâmetros do solo

Para determinar a umidade do solo foi utilizado o método TDR, sigla em inglês que significa “Reflectometria no Domínio do Tempo”, técnica de análise das propriedades físicas de um material. Estas medições ocorreram durante cada medição de N_2O . A figura 10 mostra a sonda e o dispositivo portátil utilizados nos registros dos dados. A umidade do solo foi calculada com base na Equação 2, e utilizou 3 amostras de cada tratamento.

Figura 9: Aparelho TDR utilizado para medir valores de umidade do solo



Fonte: acervo pessoal

A porcentagem de espaço dos poros preenchidos pela água representa os níveis de umidade e aeração do solo que, juntamente com a temperatura, contribuem para potencializar o efeito da aplicação do nitrogênio (DAVIDSON et.al, 2000).

Equação2: Cálculo da umidade do solo

$$k = \left(\frac{c}{v} \right)^2 = \left(\frac{c \cdot t}{2L} \right)^2$$

Onde:

c: velocidade da luz (m/s)

v: velocidade de propagação dos pulsos nas hastes da sonda (m/s)

t: Tempo de percurso de ida e volta do pulso ao longo da sonda (s)

L: comprimento da sonda inserida no meio de estudo (m)

k: Constante dielétrica relativa que difere entre $k(ar) \approx 1$ e $k(água) \approx 80$

4.8. Software e estatística

Os fluxos dos gases-traço foram calculados através do cruzamento de dados no programa Office Excel 2003. Este programa também foi utilizado para auxiliar na manipulação da análise dos dados e construção de gráficos. Para realizar as correlações estatísticas dos dados, foi utilizado o software estatístico livre R. Incertezas no cálculo das variáveis, baseada nos valores afetados por erros, foram incluídas no conceito de propagação de erro. Possíveis correlações entre médias emparelhadas foram testadas em laboratório, duas amostras foram utilizadas como teste com o nível de significância de $\alpha=0,05$.

5. Resultados

5.1. Parametros meteorológicos

A temperatura do ar e do solo, a radiação solar, a precipitação, juntamente com os níveis de umidade do solo são responsáveis por aumentar ou diminuir o fluxo das emissões dos gases do efeito estufa nos sistemas agrícolas. Os valores destas três variáveis climáticas dos meses de Maio a Outubro estão listados na tabela 3. O período do estudo abrangeu as estações da primavera e verão, sendo assim, as temperaturas tenderam a aumentar de acordo com o tempo.

Tabela 3: Média das variáveis climáticas de maio a outubro de 2012

| Mês | Temperatura do ar (°C) | Temperatura do solo (°C) | Precipitação (mm) |
|----------|------------------------|--------------------------|-------------------|
| Maio | 9,7 | 11,9 | 2,9 |
| Junho | 15,0 | 19,6 | 0,8 |
| Julho | 20,3 | 25,2 | 6,9 |
| Agosto | 15,8 | 18,7 | 2,1 |
| Setembro | 12,4 | 12,8 | 1,1 |
| Outubro | 9,2 | 9,2 | 0,5 |

Fonte: elaborado pelo autor

Segundo Skyba & Smith (2000), com o aumento da temperatura, aumentam as taxas de nitrificação e desnitrificação, conseqüentemente, aumentando as emissões do N_2O , devido ao aumento do consumo de O_2 pela atividade heterotrófica que promove condições anaeróbicas no solo. (DOBBIE & SMITH, 2001; SEHY et al., 2003).

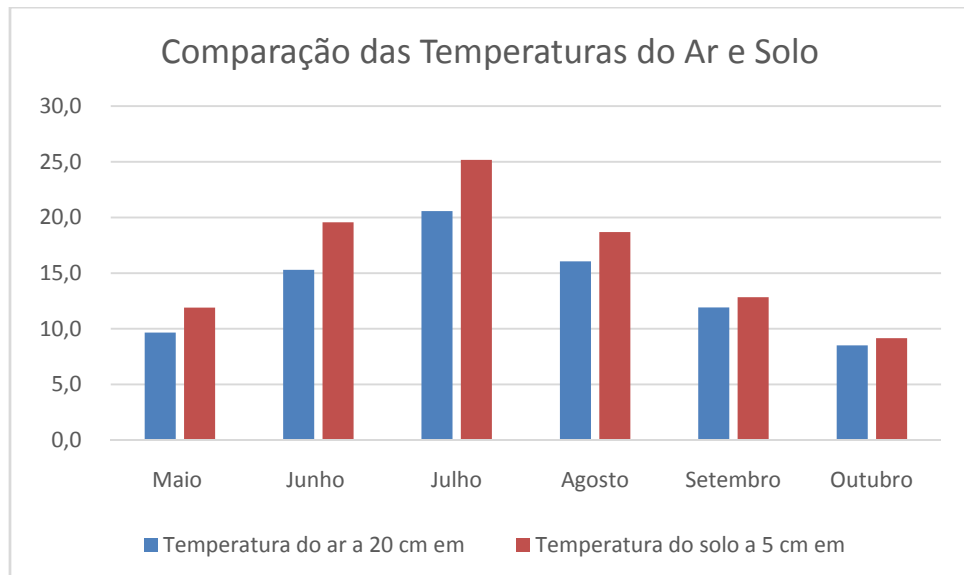
Outro fator responsável para o aumento das emissões é a quantidade de precipitação que atinge o solo fertilizado, pois devido à aeração e porosidade, se criam condições anaeróbicas ideais para a desnitrificação. (WEBB et al., 2004). De acordo com SKIBA & SMITH, 2000, o conteúdo de água presente no solo tem demonstrado ser a variável dominante controladora dos níveis de emissão de N_2O .

Por outro lado, segundo Hoffman(2011), as taxas de emissão de N_2O tornam-se elevadas quando há algum evento de alteração da atividade natural do solo,

como a aplicação do fertilizante, e o revolvimento do solo para a colheita. Mesmo com temperaturas baixas, os níveis de emissão se apresentaram maiores devido a esses fatores.

A temperatura do solo variou de 25°C no dia 17/07/12 para 8,8°C no dia 27/10/12 e em geral, seguiu a mesma tendência da temperatura do ar (Gráfico 1). Fator que não mostra necessidade em analisar separadamente os dois tipos de medição.

Gráfico 1: Comparação das Temperaturas de Ar e Solo



Fonte: elaborado pelo autor

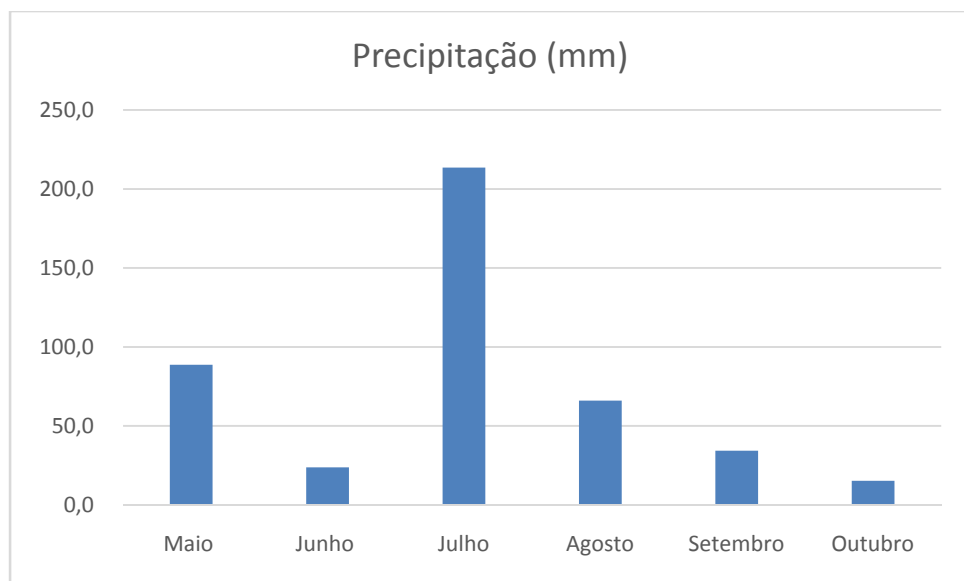
O período avaliado caracterizou-se por apresentar temperaturas do ar baixas no início e no fim do período de investigação, atingindo temperaturas médias inferiores a 10°C (gráfico 1), e temperaturas mínimas médias inferiores a 9°C no mês de maio e inferiores a 8°C em outubro, as quais provavelmente teriam refletido na redução da atividade microbiana e consequente baixas taxas de emissão, porém, como houve atividades antrópicas de aplicação do fertilizante, maio foi o mês que apresentou maior pico de emissão.

Já nos meses de agosto e setembro, os quais não sofreram situações de desgaste ao solo, e em decorrência da diminuição da temperatura, apresentaram níveis baixos de emissão do N₂O, apresentando temperaturas médias inferiores a 16°C, em relação ao mês anterior, julho, o qual apresentou temperatura média de

21°C (gráfico 1). As emissões de N_2O nos três tratamentos apresentaram em geral os valores mais baixos do período investigativo no início do outono.

Como já está relatado, a emissão do N_2O aumenta seguindo o aumento da temperatura. O mesmo acontece para a precipitação, os níveis de gás liberado são maiores no período em que ocorreram elevados índices de precipitação (gráfico 2). Variando de 74,6 milímetros para a fertilização orgânica em julho, quando houve pico de emissão no tratamento com fertilização orgânica, a 1,1 milímetro em agosto, quando houve diminuição da emissão no tratamento de fertilização mineral e 0,2 milímetros em outubro, mês em que houve diminuição das emissões no tratamento de fertilização orgânica.

Gráfico 2: Índices de precipitação de Dedelow durante o período de investigação



Fonte: elaborado pelo autor

5.2. Parametros do solo

Os valores de umidade do solo medidos pelo TDR são variáveis de acordo com a dinâmica pluvial e o tipo de solo da área de estudo. Em solos argilosos, como é o caso de Dedelow, há grande suscetibilidade de infiltração de água no solo por

consequência da alta capacidade de retenção de água no solo, mesmo apresentando baixa permeabilidade. (EMBRAPA, 2013)

É importante que, ao analisarmos as emissões de gases do efeito estufa, saibamos que em solos fertilizados com produtos provenientes do resíduo do milho, possuem maior quantidade de matéria orgânica, e conseqüentemente, maior quantidade de nutrientes é encontrada no solo, proporcionando um aumento na liberação do nitrogênio.

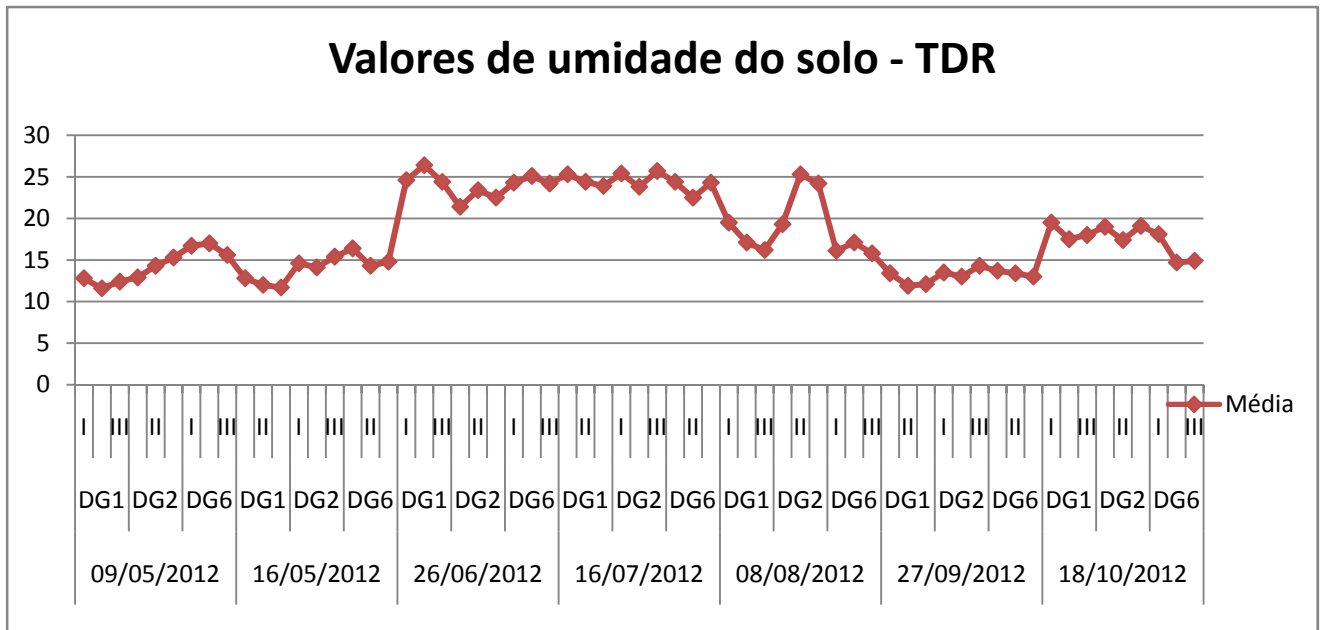
Segundo Bateman & Baggs (2005), a emissão de N_2O se intensifica quando o solo apresenta grande parte da sua porosidade preenchida por água acima de 60%, pois essa quantidade de água dificulta a difusão do O_2 no solo, favorecendo a formação de ambientes anaeróbios, os quais são propícios ao processo de desnitrificação. Esta é a redução microbiana de nitrato (NO_3^-) ou nitrito (NO_2^-) a N gasoso, com NO e N_2O sendo produzidos como compostos intermediários da redução. Este processo é realizado por um grupo de bactérias diversificadas e amplamente distribuídas sendo heterotróficas e, portanto, é mais importante em ambientes onde prevalece a condição anaeróbica (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

Já as emissões de N_2O provenientes da desnitrificação são quantitativamente dependentes da capacidade deste processo ocorrer e tendem a ser maiores quando os solos apresentam condições adequadas de umidade (DUXBURY, 1995).

Quando os solos são expostos a eventos pluviométricos, podem aumentar a quantidade de emissão de CH_4 , resultado da atividade de microorganismos metanogênicos. (ESCOBAR, 2008)

De acordo com as análises realizadas no estudo, os valores de TDR foram maiores nos meses de junho e julho, apresentando valores 26,4% e 15,7%, respectivamente, coincidindo com os períodos de maior precipitação do estudo (gráfico 3). No fim do verão, início do outono, os índices pluviométricos diminuíram, a área estava muito seca, resultando em valores mínimos de umidade, medidos no dia 27 de Setembro. Durante todo o verão (junho e julho), os tratamentos apresentaram níveis maiores de umidade do solo.

Gráfico 3: Médias da umidade do solo em Dedelow durante o período de investigação



Fonte: Elaborado pelo autor

5.3. Óxido Nitroso

Os solos são a maior fonte de N_2O , sendo que as emissões antrópicas de óxidos de N estão associadas com a adição de fertilizantes e aumento na mineralização do N orgânico do solo, através da prática da agricultura (DUXBURY, 1995). Este gás participa numa variedade de reações que afetam os níveis troposféricos de ozônio e provoca a sua degradação, uma vez que o impacto do N_2O na mudança radiativa é direto.

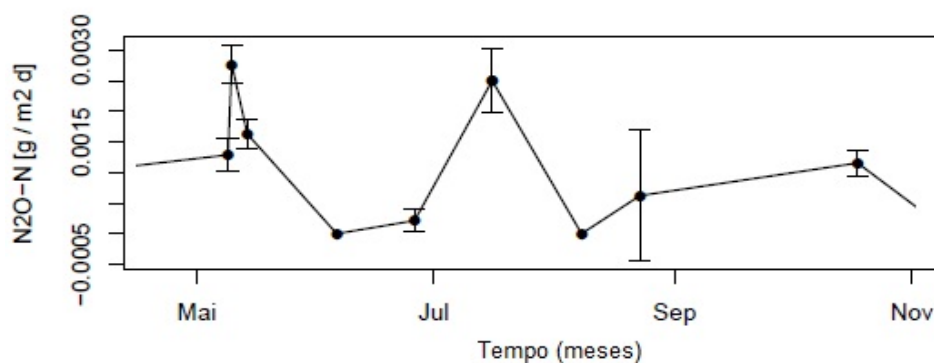
Ao adicionar fertilizante nitrogenado aos sistemas agrícolas, cria-se uma fonte antrópica de N_2O derivada da nitrificação. Já as emissões deste gás provenientes da desnitrificação são altamente variáveis porque ele não é o produto final deste processo, pois suas emissões são, geralmente, maiores em ambientes úmidos (DUXBURY, 1995).

Segundo Mosier et al. (2004), dados obtidos em pesquisa de sistemas de produção agrícola demonstram que o N_2O é emitido em resposta a adubação nitrogenada.

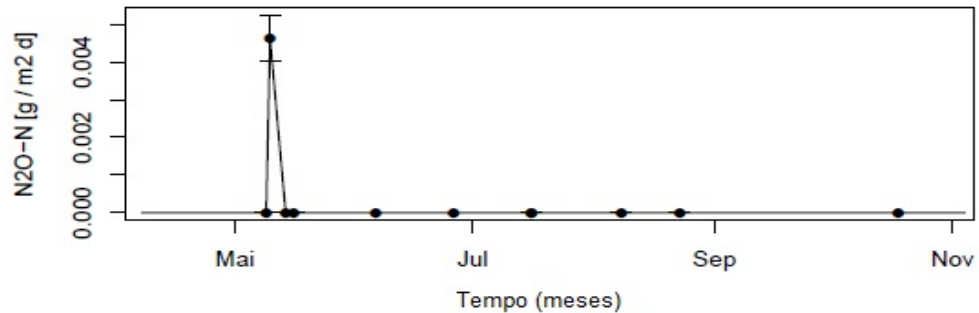
Observamos que as emissões adquiridas em culturas específicas variam muito e concluímos que é ampla a gama de observações dentro de cada cultura em particular, conforme demonstraram Ball et al. (1999), os fluxos de N_2O foram fortemente dependentes das chuvas e estiveram associados principalmente com o período após a fertilização. Em geral, foram elevadas as perdas de N_2O após a fertilização, sendo que o pico de emissão de N_2O ocorreu após a primeira grande chuva e a aplicação do fertilizante.

O DG6, tratamento de fertilização orgânica, foi o tratamento que apresentou maiores índices de liberação de óxido nítrico durante todo o período de investigação, com médias variando entre 367,55 e 321,05g/m². Enquanto que as emissões do DG1 e DG2 (sem fertilização e de fertilização mineral) tiveram uma média de 305,78 g/m² e 313,22g/m², respectivamente. A quantificação das emissões do DG6, DG1 e DG2 estão mostradas nos gráficos 4, 5 e 6, respectivamente. Uma possibilidade para esta variação é que a fertilização orgânica contém resíduos vegetais e substratos orgânicos que favorecem a desnitrificação, aumentando o potencial de emissão dos gases do efeito estufa.

Gráfico 4: Emissão de N_2O no Tratamento DG6 – Fertilização orgânica

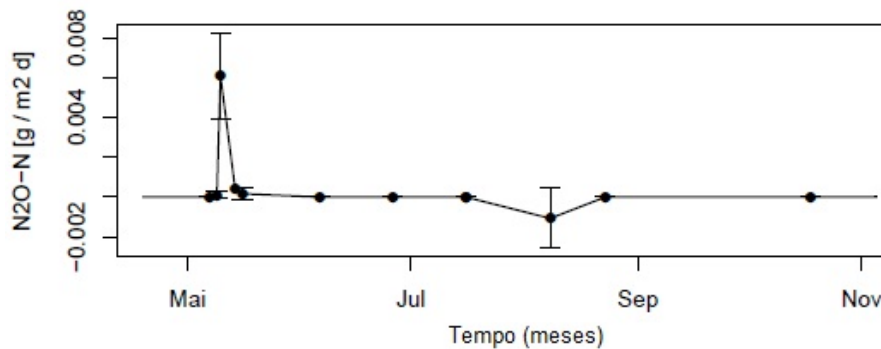


Fonte: elaborado pelo autor

Gráfico 5: Emissão de N₂O no Tratamento DG1 – Sem fertilização

F

Fonte: elaborado pelo autor

Gráfico 6: Emissão de N₂O no Tratamento DG2 – Fertilização mineral

Fonte: elaborado pelo autor

Os níveis máximos de emissão de N₂O foram encontrados no mês de maio, em especial, imediatamente após a aplicação dos fertilizantes. Em todos os três tratamentos houve pico de liberação de gases devido à aplicação do fertilizante, tanto mineral, quanto orgânico, proveniente do resíduo de biocombustível, inclusive nas amostras sem fertilização (DG1), que foram influenciadas pela dispersão do fertilizante. Os valores das emissões deste mês variaram entre 324,84g/m² no tratamento sem fertilização, 331,16g/m² tratamento de fertilização mineral e 367,55g/m² no tratamento orgânico.

Durante todo o ano, a emissão de N_2O manteve similaridade na fertilização mineral (DG2), em torno de $315g/m^2$, enquanto que na fertilização orgânica(DG6) houve maior amplitude de valores, variando de $317,96g/m^2$ a $367,55g/m^2$.

O tratamento DG1, o qual não sofreu nenhuma aplicação de fertilizantes permaneceu estável durante todo o ano, com emissões próximas do zero. Excetuando apenas o mês de maio, quando a fertilização dos outros tratamentos influenciou e alterou as emissões de todos os tratamentos.

Nos tratamentos orgânico e mineral houve diminuição das emissões em agosto, variando de $320,24$ a $332,04g/m^2$ no primeiro tratamento (DG6) e $294,54$ a $330,91$ no segundo(DG2), devido a diminuição da temperatura e precipitação.

6. Considerações finais

Antes de mais nada, é preciso falar que participar deste intercâmbio foi uma experiência singular e inigualável, desde o acolhimento dos novos amigos, a descoberta de uma cultura ímpar, o convívio solidário, que me capacitou para relacionamentos interpessoais, até a qualidade dos estudos realizados, que proporcionaram conhecimentos científicos e culturais, incluindo inovações de tecnologia no desenvolvimento da pesquisa, objeto deste trabalho, para a redução de emissão de GEE.

Efetivamente o mundo está se tornando mais quente. Além de ser um processo natural da Terra, decorre da ação humana que, embora não seja a única, parece ser a principal responsável pelo aquecimento global. Pesquisas apontam que em 2011 as emissões de dióxido de carbono (CO₂) atingiram o maior nível da história. De acordo com o Instituto de Energia Renovável da Alemanha (2012), foram 34 bilhões de toneladas, um aumento de 2,5% em relação ao ano anterior, porcentagens que aumentam a cada ano.

Pesquisas e estudos que abordam o assunto são muito importantes e cada vez mais necessárias para a continuidade da vida no planeta, assim como políticas públicas que destaquem e priorizem o desenvolvimento com responsabilidade ambiental, que incentivem e financiem o estudo científico em todas as áreas de proteção ao ambiente, principalmente sobre a diminuição das emissões dos GEE.

Para isso sugerimos que nossos estudos tenham continuidade no Brasil, pois poderia representar a base para novos estudos relacionados aos gases do efeito estufa.

A sugestão parece válida, pois o Brasil caminha com grande vontade para mitigar emissões de gases do efeito estufa, a julgar pelo primeiro Relatório de Avaliação Nacional (RAN1), lançado no dia 9 de setembro de 2013, que dedicou um Grupo de Trabalho, GT3, exclusivamente para a questão da mitigação das emissões dos gases do efeito estufa. Co-coordenado pelo engenheiro Emílio Lebre La Rovere, juntamente com Mercedes Bustamante, do Departamento de Ecologia da Universidade de Brasília (UnB), o GT3 concluiu que é viável alcançar os objetivos voluntários de redução de emissões que o governo brasileiro assumiu para 2020, porém, para isso serão necessárias novas políticas de redução e medidas de

mitigação. Caso essas medidas não ocorram, a tendência é que as emissões voltem a aumentar após 2020.

Nesse sentido é preciso ressaltar a importância da pesquisa realizada no ZALF da qual fizemos parte e seus resultados. É bem verdade que este estudo foi apenas o início de uma pesquisa, que está em continuidade no Instituto alemão Zalf, referência mundial em pesquisas ambientais e, talvez possa representar um primeiro passo para se trazer este método para o Brasil, para aperfeiçoamento do método utilizado, pois, ainda que seja um meio válido para verificar as emissões de gases N_2O , CH_4 e CO_2 , não tem ainda comprovada a sua eficiência, uma vez que a medição do fluxo dos gases está sujeito a muitos erros e imperfeições, como a pouca quantidade de medições realizadas e a fragilidade dos frascos utilizados.

Constatou-se, através das análises das medições que o tratamento que mais emitiu N_2O foi o de fertilização orgânica (DG6), o que não nos deixa perspectivas animadoras, pois, mesmo que este seja advindo do resíduo de biocombustível, e diminua o uso de combustíveis fósseis e emissão de CO_2 na atmosfera, quando devolvido para o solo, foi o que mais produziu o gás mais prejudicial ao meio ambiente e ao efeito estufa. Como a população mundial tende a aumentar, será necessário cada vez mais o aumento de produção agrícola para a alimentação e como fonte de biocombustível, portanto a tendência é que o uso de fertilizantes inorgânicos aumente, o que não contribui em nada com adiminuição de gases do efeito estufa. Ainda que essenciais, esses compostos químicos contribuem para o agravamento de diversos problemas ambientais e continuarão a ser utilizados, a menos que as pesquisas científicas possam se intensificar e encontrar uma solução, não só na Alemanha, onde essa pesquisa está em continuidade, mas, repetimos, também no Brasil, país reconhecido mundialmente por seu pioneirismo na introdução em sua matriz energética de um biocombustível produzido a partir da cana-de-açúcar.

Referencias

ANGELO, C.: **O Aquecimento Global**. São Paulo: Publifolha, 2012

ARTHURSON, V.: **Closing the Global Energy and Nutrient Cycles through Application of Biogas Residue to Agricultural Land – Potential Benefits and Drawbacks**. Energies, 2009

AUGUSTIN, J.: **Einfluss des Energiepflanzenanbaus zur Biogasgewinnung und der Gärrestaubsbringung auf den Austausch klimarelevanter Spurengase, die Ammoniakverflüchtigung und den C-Vorrat des Bodens**. Tagungsbeitrag. In: FNR (Hrsg.): 3. Symposium Energiepflanzen. Berlin, 2011

BALL, B.C.; SCOTT, A.; PARKER, J.P. **Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland**. Soil & Tillage Research, 53, p. 29-39, 1999

BATEMAN, E.J.; BAGGS, E.M. **Contributions of nitrification and denitrification to N₂O emissions from soils at different water-filled pore space**. Biology and Fertility of Soils, 41, p. 379–388, 2005

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). **Klimaschutzpolitik in Deutschland**, 2009
<http://www.bmu.de/klimaschutz/nationale_klimapolitik/doc/5698.php> (Acesso em outubro/2012)

CLEMENS, J., TRIMBORN, M., WEILAND, P., AMON, B.: **Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry**. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2012

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Gases do Efeito Estufa**. <<http://www.cetesb.sp.gov.br/mudancas-climaticas/proclima/Efeito%20Estufa/9-Gases%20do%20Efeito%20Estufa>> (Acesso em Junho, 2013)

CRUTZEN, P.J., MOSIER, A.R., SMITH, K.A., WINIWARTER, W.: **N₂O release from agro biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels**. Atmospheric Chemistry and Physics, 2008

DAVIDSON, E.A.; KELLER, M.; ERICKSON, H.E.; VERCHOT, L.V.; VELDKAMP, E.

Testing a conceptual model of soil emissions of nitrous and nitric oxides.

BioScience, 50, n.8, p. 667-680, 2000.

Desafios para mitigar emissões brasileiras de GEE.

<<http://planetasustentavel.abril.com.br/blog/blog-do-clima/2013/09/09/como-estao-as-emissoes-no-brasil/>> (Acesso em Novembro, 2013)

DITTERT, K. & SENBAYRAM, M.: Prozesse und Triebkräfte für

Lachgasemissionen nach der Applikation von N-Düngern. Tagungsbeitrag: N-Effizienz im Spannungsfeld, Lutherstadt Wittenberg, 2012

DITTERT, K., MÜHLING, K. H.: Emission klimarelevanter Spurengase in der intensiven Pflanzenproduktion.

Journal für Verbraucherschutz und

Lebensmittelsicherheit, 2009

DOBBIE, K.E.; SMITH, K.A. The effects of temperature, water-filled pore space

and land use on N₂O emissions from an imperfectly drained gleysol. European Journal of Soil Science, 52, p. 667-673, 2001

DUXBURY, J.M. The significance of greenhouse gas from soils of tropical

agroecosystems. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B.A. (Eds.) Soil management and greenhouse effect. Advances in Soil Science. Boca Raton: CRC Lewis Publishers, p. 279-291, 1995

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Nutrição e adubação do milho.

<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_2ed/feraduba.htm> (Acesso em Agosto, 2013)

ESCOBAR, L.F., Emissão de gases de efeito estufa em sistemas de manejo em

solo do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós- Graduação em Ciência do solo, UFSM, RS, 2008

FACHVERBAND BIOGAS E.V.: Biogas Segment Statistics 2011.

[http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/\\$file/12-06-12_Biogas%20Branchenzahlen%202011_eng.pdf](http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/$file/12-06-12_Biogas%20Branchenzahlen%202011_eng.pdf) (Acesso em outubro/2012)

GERICKE, D., PACHOLSKI, A., KAGE, H.: Measurement of ammonia emissions in multiplot field experiments. Biosystems Engineering, 2011

HOFFMANN C, ANGER M, KÜHBAUCH W: **N₂O Freisetzung auf gemähtem Dauergrünland in Abhängigkeit von Standort und N-Düngung.** Journal of Agronomy. Crop Science, 2001

IPCC: **Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** METZ, B., DAVIDSON, O.R., BOSCH, P.R., DAVE, R., MEYER, L.A. (eds.). United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2007

KHALIL, M.I.; BAGGS, E.M. **CH₄ oxidation and N₂O emissions at varied soil water-filled pore spaces and headspace CH₄ concentrations.** Soil Biology & Biochemistry, 37, p. 1785–1794, 2005

LAMPE, C., DITTERT, K., SATTELMACHER, B., WACHENDORF, M., BUTTERBACH-BAHL, K., PAPEN, H., GASCHÉ, R., TAUBE, F.: **Einfluss der N-Düngung auf die N₂O-Emissionen auf Grünland.** Vortrag In: 5. DLG – Grünlandtagung, 2003

LIVINGSTON G.P., HUTCHINSON G.L.: **Enclosure-based measurement of trace gas exchange – Biogenic trace gases: Measuring emissions from soil and water.** Blackwell Scienc. Oxford, England, 1995

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Protocolo de Quioto.** <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/17331.html>> (Acesso em novembro, 2013)

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do solo.** 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006

MOSIER, A.; SCHIMEL, D.; VALENTINE, D.; BRONSON, K.; PARTON, W. **Methane and nitrous oxide fluxes in native, fertilized and cultivated grasslands.** Nature, 350, p. 330-332, 1991

MOSIER, A.; WASSMANN, R.; VERCHOT, L.; KING, J.; PALM, C. **Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils: sources, sinks and mechanisms.** Environment, Development and Sustainability, 6, p. 11–49, 2004

Primeira Conferencia Nacional de Mudanças Climáticas de São Paulo. **Mitigação das Mudanças Climáticas.**

<<http://www.fapesp.br/eventos/2013/09/conclima/mercedes.pdf>> (Acesso em Novembro, 2013)

ROTH, K.; SCHULIN, R.; FLÜLER, H. & ATTINGER, W. **Calibration of time domain reflectometry for water content measurement using a composite dielectric approach.** Water Resources Research, 26(10):2267-2273, 1990

SÄNGER, A., GEISSLER, D., LUDWIG, B.: **Effects of moisture and temperature on greenhouse gas emissions and C and N leaching losses in soil treated with biogas slurry.** Biology and Fertility of Soils, 2011

SEARCHINGER, T., HEIMLICH, R.A., HOUGHTON, F., DONG, A., ELOBEID, J., FABIOSA, S., TOKGOZ, D., HAYES, T.Y.: **Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land use change.** Science, 2008

SENBAYRAM, M.: **Greenhouse gas emission from soils of bioenergy crop production systems and regulating factors.** Dissertation an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2010

SKIBA, U.; SMITH, K.A. **The control of nitrous oxide emissions from agricultural and natural soils.** Chemosphere-Global Change Science, 2, p. 379-386, 2000

SMEETS, E.M.W., BOUWMAN, L.F., STEHFEST, E., VAN VUUREN, D.P., POSTHUME, A.: **Contribution of N₂O to the greenhouse gas balance of first-generation biofuels.** Global Change Biology, 2009

VERCH, G., KÄCHELE, H., HÖLTL, K., RICHTER, C., FUCHS, C.: **Comparing the profitability of tillage methods in Northeast Germany – A field trial from 2002 to 2005.** Soil & Tillage Research, 2009

WEBB, J.; ELLIS, S.; HARRISON, R.; THORMAN, R. **Measurement of N fluxes and soil N in two arable soils in the UK.** Plant and Soil, 260, p. 253–270, 2004

WEIER, K. L., DORAN, J. W., POWE, J. F., WALTERS, D. T.: **Denitrification and the dinitrogen/nitrous oxide ratio as affected by soil water, available carbon, and nitrate.** Soil Science Society of America Journal, 1993

WEILAND, P.: **Biogas production: current state and perspectives.** Applied Microbiology and Biotechnology, 2012

ZENTRUM FÜR AGRARLANDSCHAFTSFORSCHUNG (ZALF) E.V.

MÜNCHENBERG (2012): **Standortbedingungen Dedelow**

<http://www.zalf.de/de/forschung/services/fos/bereiche/Seiten/dedelow.aspx> (Acesso em novembro/2012).