**TRANSFORMAÇÕES DO NITROGÊNIO DA VINHAÇA-¹⁵N
E URÉIA-¹⁵N EM DOIS SOLOS (PV E LR), NA PRESENÇA
OU NÃO DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

VILMA MARIA SILVA
Química Industrial

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Ocheuze Trivelin

**Tese apresentada à Escola Superior
de Agricultura “Luiz de Queiroz”,
da Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Doutor em
Agronomia, Área de concentração:
Solos e Nutrição de Plantas.**

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Janeiro - 1997

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Silva, Vilma Maria

Transformações do nitrogênio da vinhaça-¹⁵N e uréia-¹⁵N em dois solos (PV e LR), na presença ou não da palha de cana-de-açúcar / Vilma Maria Silva. - - Piracicaba, 1997.

92p.

Tese (doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997.
Bibliografia.

1. Isótopo estável 2. Nitrogênio-¹⁵ 3. Resíduo orgânico 4. Uréia 5. Vinhaça em solo I. Título

COP 631.41

TRANSFORMAÇÕES DO NITROGÊNIO DA VINHAÇA-¹⁵N E URÉIA-¹⁵N EM DOIS SOLOS (PV E LR), NA PRESENÇA OU NÃO DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR

VILMA MARIA SILVA

Aprovada em: 12. 03. 1997

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Jorge de Castro Kiehl

ESALQ/USP

Prof. Dr. Paulo Cesar Ocheuze Trivelin

CENA/USP

Prof. Dr. Reynaldo Luiz Victória

CENA/USP

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörf

UFU/MG

Prof. Dr. Heitor Cantarella

IAC/SP

Prof. Dr. PAULO C. O. TRIVELIN
Orientador

OFEREÇO

*Á minha mãe, Maria José
com muito amor e carinho.*

Ao meu pai, José Capitulino (in memoriam)

DEDICO

*Ao meu amado filho
Fernando Enrique Encarnação*

*Ao meu companheiro e amigo
Fernando Encarnação*

AGRADECIMENTOS

- A Deus, por me iluminar em todos momentos da minha vida.
- Ao Prof. Dr. Paulo Cesar Ocheuze Trivelin, pelo apoio, pela orientação e pela paciência.
- Ao Prof. Dr. Fernando Antônio Franco da Encarnação, pelo incentivo constante e pela contribuição valiosa nas mais diversas etapas deste trabalho.
- Ao Prof. Dr. Waldecir Colaço, pela co-orientação prestada com muito afinho e pela grande amizade.
- Ao Prof. Dr. Waldo Alejandro Rubén Lara Cabezas, pelo estímulo e pelas sugestões na etapa inicial deste trabalho.
- A Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e ao Departamento de Energia Nuclear (DEN), pela liberação e oportunidade.
- A Universidade de São Paulo (USP) e a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), pela aceitação e condições oferecidas.

- Aos professores e aos técnicos que fazem parte da Secção de Isótopos Estáveis do CENA/USP, pela amizade e apoio para realização da parte experimental deste trabalho.
- À CAPES, pelo apoio concedido durante a realização do Curso.
- Ao meu irmão Valdenis José Silva, pela valiosa orientação e ajuda prestada na área de informática.
- Ao Prof. Cláudio Melo, pela sua entusiasta colaboração nas inúmeras etapas deste trabalho com muita dedicação.
- A Úrsula Gabe, pelo acolhimento, carinho e a grande amizade.
- A minha família que muito me estimulou durante todo o curso.
- A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a execução deste estudo.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	viii
RESUMO	x
SUMMARY	xii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 Transformações do N-vinhaça e do N-uréia no solo	7
2.2 A problemática do manejo da adubação nitrogenada de canaviais, com colheita de cana crua (cana sem despalha a fogo)	17
2.3 Transformação do N no solo após incorporação de material vegetal..	19
3 MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 Solos	23
3.2 Vinhaça	23
3.3 Uréia	24
3.4 Palha	24
3.5 Experimentos	24

3.5.1	Determinação do N total do solo	26
3.5.2	Determinação do N mineral (N-NH_4^+ e $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$) do solo..	27
3.5.3	Determinação da Abundância de ^{15}N	27
3.5.4	Análise Estatística	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1	Nitrogênio total nos solos PV e LR derivado da uréia- ^{15}N e da vinhaça- ^{15}N (Ntsdff)	30
4.2	Nitrogênio mineral total nos solos PV e LR derivado da uréia- ^{15}N e vinhaça - ^{15}N (Nminsdff)	34
4.3	N-NH_4^+ nos solos PV e LR derivado da uréia- ^{15}N e vinhaça- ^{15}N (N-NH_4^+ sdff)	38
4.4	N-NO_3^- nos solos PV e LR derivado da uréia- ^{15}N e da vinhaça- ^{15}N (N-NO_3^- sdff)	42
4.5	Taxa de transformação líquida do N-mineral derivado da uréia ^{15}N e da vinhaça- ^{15}N (TtransliqNsdff)	48
4.6	Perdas gasosas do nitrogênio derivado da uréia e da vinhaça marcadas com ^{15}N aplicadas aos solos PV e LR (Nvtsdff)	56
5	CONCLUSÕES	63

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
APÊNDICE	80

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Tratamentos e doses de vinhaça, uréia e palha nos experimentos de incubação dos solos PV e LR, em laboratório	25
2 N-total derivado das fontes marcadas (Ntsdff - mg kg ⁻¹) no solo PV aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação	31
3 N-total derivado das fontes marcadas (Ntsdff - mg kg ⁻¹) no solo LR aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação	32
4 N-mineral total derivado das fontes marcadas (Nminsdff - mg kg ⁻¹) no solo PV aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação	35
5 N-mineral total derivado das fontes marcadas (Nminsdff - mg kg ⁻¹) no solo LR aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação	36
6 N-NH ₄ ⁺ derivado das fontes marcadas (N-NH ₄ ⁺ sdff - mg kg ⁻¹) no solo PV aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação	39
7 N-NH ₄ ⁺ derivado das fontes marcadas (N-NH ₄ ⁺ sdff - mg kg ⁻¹) no	

solo LR aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação	40
8 N-NO ₃ ⁻ derivado das fontes marcadas (N-NO ₃ ⁻ sdff - mg kg ⁻¹) no	
solo PV aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação	43
9 N-NO ₃ ⁻ derivado das fontes marcadas (N-NO ₃ ⁻ sdff - mg kg ⁻¹) no	
solo LR aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação	44
10 pH (CaCl ₂ 0,01M) do solo PV com o tempo	46
11 pH (CaCl ₂ 0,01M) do solo LR com o tempo	46
12 Taxa de transformação líquida do N-mineral derivado das fontes	
marcadas (TtransliqNsdff - mg kg ⁻¹ dia ⁻¹) no solo PV aos 7, 14, 21,	
28 e 35 dias de incubação	49
13 Taxa de transformação líquida do N-mineral derivado das fontes	
marcadas (TtransliqNsdff - mg kg ⁻¹ dia ⁻¹) no solo LR aos 7, 14, 21,	
28 e 35 dias de incubação	50
14 N volatilizado total derivado das fontes marcadas (Nvtsdff -	
mg kg ⁻¹) no solo PV aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação	57
15 N volatilizado total derivado das fontes marcadas (Nvtsdff -	
mg kg ⁻¹) no solo LR aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação	58

TRANSFORMAÇÕES DO NITROGÊNIO DA VINHAÇA-¹⁵N E URÉIA-¹⁵N EM DOIS SOLOS (PV E LR), NA PRESENÇA OU NÃO DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Autora: VILMA MARIA SILVA

Orientador: PROF. DR. PAULO CESAR OCHEUZE TRIVELIN

RESUMO

O nitrogênio segue uma série de reações no solo que requer o estudo continuado para melhorar sua eficiência. As transformações do N, quando se adiciona matéria orgânica no solo, são complexas. Elas não são suficientemente entendidas, particularmente quando a palha de cana é incorporada, e se adiciona vinhaça e uréia, isoladamente ou em conjunto, ao solo. No presente estudo, avaliaram-se, por meio da técnica isotópica, as transformações do N derivado de fontes do ¹⁵N (uréia e vinhaça) aplicadas a dois solos de diferentes texturas (PV, arenoso e LR, argiloso), incorporados ou não com palha de cana (folha e bainha), e incubados em sistema aberto por 35 dias. Amostras de solo foram coletadas aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após aplicação para determinação das frações-N (N total, N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻) provenientes das fontes marcadas. O N mineral foi a soma dos valores de N-

NH_4^+ e N-NO_3^- . As taxas de transformação líquida do N-mineral foram calculadas pela diferença entre valores do N-mineral obtidos em tempos subsequentes de incubação. O N volatilizado proveniente das fontes marcadas foi obtido por meio do balanço de ^{15}N . O N total derivado da uréia-N foi significativamente menor que o derivado da vinhaça-N em relação ao adicionado, sugerindo a ocorrência de perdas gasosas. A adição de palha e/ou vinhaça reduziu a quantidade do N-mineral, independentemente da origem (uréia- ^{15}N ou vinhaça- ^{15}N). A complementação da vinhaça com uréia intensificou a mineralização do N favorecendo sua disponibilidade como N-NH_4^+ e aumentando a quantidade de N-NO_3^- da vinhaça- ^{15}N . A adição de palha e uréia reduziu a quantidade do N-NH_4^+ ; a adição de palha, uréia e vinhaça induziu uma menor nitrificação da vinhaça- ^{15}N nos solos. A complementação da uréia marcada com vinhaça e palha reduziu o N-NH_4^+ derivado da uréia. A uréia isoladamente favoreceu a nitrificação, em relação aos demais tratamentos, nos dois solos. As taxas de transformação líquida do N-mineral foram, em geral, negativas (predominância da imobilização), em todos os tratamentos, nos dois solos. A adição de uréia, palha e vinhaça aos solos acarretou perdas gasosas mais elevadas para uréia- ^{15}N do que para vinhaça- ^{15}N ; este efeito foi mais pronunciado no solo PV. Estas perdas podem ter ocorrido por volatilização de amônia e por nitrificação-desnitrificação.

NITROGEN TRANSFORMATIONS OF ^{15}N -VINASSE AND ^{15}N -UREA IN TWO SOILS (PV E LR), IN THE PRESENCE OR ABSENCE OF SUGAR CANE STRAW

Author: VILMA MARIA SILVA

Adviser: PROF. DR. PAULO CESAR OCHEUZE TRIVELIN

SUMMARY

Nitrogen follows a series of reactions in soil that require continuing study to improve its efficiency. Nitrogen transformations occurring in soils that receive organic matter additions are complex. These transformations are insufficiently understood, particularly when sugar cane straw is incorporated, and vinasse and urea are applied to the soil either separately or in combination. Changes in N derived from ^{15}N sources (urea and vinasse), applied to two soils differing in texture (PV sandy, LR clayey), incorporated or not with sugar cane straw (dry leaves and sheaths), and incubated in an open system for 35 days, were evaluated through an isotope technique. Soil samples were collected 7, 14, 21, 28 and 35 days after applications to determine nitrogen fractions (total-N, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$) derived from the labelled sources. Mineral-N was taken as the sum of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$. The mineral-N net transformation rates were found from the

mineral-N ($\text{NH}_4^+\text{-N} + \text{NO}_3^-\text{-N}$) obtained by taking the difference between the values for two subsequent incubation times. Volatilized-N derived from the tagged sources was calculated through the ^{15}N balance. Total-N in soil derived from the applied urea were significantly lower than total -N in soil derived from the applied vinasse in relation to the amounts of N initially added, suggesting the occurrence of N gaseous losses. The addition of sugar cane leaves and/or vinasse reduced the amount of N-mineral regardless of its origin (urea- ^{15}N , vinasse- ^{15}N). The addition of urea as a complement of tagged vinasse enhanced the mineralization of N-vinasse, favouring its availability as $\text{NH}_4^+\text{-N}$, and leading to increases in $\text{NO}_3^-\text{-N}$ levels. The addition of sugar cane straw plus urea reduced the amount of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ derived from vinasse and induced lower nitrification, in comparison to other treatments. The amount of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ derived from urea was reduced when this tagged source was complemented with vinasse and sugar cane straw. Urea isolately applied to both soils promoted more nitrification than the ones caused by other treatments. In general terms, mineral-N net transformation rates were negative (prevalence of immobilization) in all treatments, in both soils. Urea, sugar cane straw, and vinasse added together to the soils, also caused higher losses of ^{15}N -urea than of ^{15}N -vinasse, this effect being prevalent in PV soil. These losses must be due to ammonia volatilization and nitrification - denitrification.

1 INTRODUÇÃO

O incremento na produção nacional de álcool combustível acarretou a integração de novas áreas para dar suporte à expansão agrícola do setor e trouxe consigo várias conseqüências, dentre elas, a grande produção da vinhaça e de outros resíduos da indústria sucroalcooleira.

A proporção relativamente elevada de 13 a 15 litros de vinhaça para cada litro de álcool combustível produzido (Leme et al., 1980), o elevado poder poluente da vinhaça quando descartada em cursos d'água, e a crescente consciência ecológica mundial, exigiram a busca de alternativas que viabilizassem a utilização racional desse resíduo.

Das possibilidades estudadas de utilização da vinhaça, a sua aplicação “in natura” aos solos cultivados com soqueira de cana-de-açúcar é a que tem se mostrado mais viável. Este fato pode estar relacionado aos comentários de Bauwer & Chaney (1974), de que: “a adição de resíduos orgânicos líquidos ao solo não se constitui em risco de poluição para o lençól freático e, por outro lado, implica na reciclagem de poluentes que vão se tornar nutrientes para os vegetais a médio prazo, além de mostrar outros aspectos favoráveis, tais como, segurança, simplicidade e baixos requerimentos energéticos para sua execução”.

Na década de 1950 foram desenvolvidas as primeiras pesquisas sobre a aplicação da vinhaça, ao solo, como fertilizante. Os primeiros trabalhos revelaram os efeitos benéficos sobre o sistema solo-planta (Almeida, 1952).

Dentre os efeitos favoráveis destacam-se a elevação do pH do solo, a melhoria das propriedades físicas e químicas do solo, o aumento do poder de retenção de água, o favorecimento das condições para o desenvolvimento da cana, a maior retenção de sais minerais (Almeida, 1952), e a restauração, conservação e aumento da fertilidade do solo (Almeida, 1952, Camargo, 1954).

Por volta de 1960, foram intensificados os estudos sobre a aplicação de vinhaça ao solo, que buscavam confirmar os efeitos favoráveis para um melhor aproveitamento desse resíduo como fertilizante. No entanto, são escassas as pesquisas realizadas visando compreender os efeitos da aplicação da vinhaça na dinâmica do nitrogênio no solo (bem como de outros nutrientes), notando-se a ausência absoluta de trabalhos relacionados às transformações no solo do nutriente proveniente da vinhaça, e seu aproveitamento pela cultura da cana-de-açúcar.

Os estudos realizados e que visavam determinar a necessidade de complementação nitrogenada, após aplicação da vinhaça em áreas com soqueiras de cana-de-açúcar, são pouco esclarecedores, podendo-se concluir que não foi alcançado tal objetivo. É possível que isso se deva ao fato de os autores considerarem a vinhaça como adubo potássico, ao lado das limitações da metodologia experimental utilizada.

Sabe-se que a vinhaça é um resíduo de relação C:N (carbono : nitrogênio) considerada de valor médio a elevado, e que é prática comum proceder a suplementação com N mineral em fertilizações de solo, procurando-se, desta maneira, evitar a imobilização do N no solo, além de atender as exigências dos nutrientes N e K pela cana-de-açúcar.

Para suplementar a vinhaça com fertilizante nitrogenado é necessário avaliar os efeitos da sua aplicação na dinâmica do N no solo. É necessário identificar as transformações do N do fertilizante e seu destino na dinâmica do N no solo, assim como as transformações e destino do N da vinhaça, e o aproveitamento do nitrogênio nativo do solo, do N-vinhaça, N-fertilizante e, provavelmente, do N fixado biologicamente.

Portanto, para melhor avaliar a disponibilidade do N-vinhaça, N-uréia e do nitrogênio de outras origens à cultura da cana-de-açúcar, existe a necessidade de introduzir modificações no enfoque experimental anteriormente utilizado.

Nesse sentido, pode-se utilizar da valiosa contribuição das técnicas isotópicas, particularmente do isótopo ^{15}N , para identificar os caminhos e o destino do N de distintas fontes, a fim de complementar as informações obtidas com as pesquisas convencionais, dadas as limitações de caráter econômico e acadêmico, intimamente relacionadas ao conhecimento da dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta, além de implicações sócio-políticas e ecológicas, relacionadas à utilização desse resíduo.

Só recentemente foi desenvolvida uma metodologia de marcação bioquímica do nitrogênio da vinhaça com o isótopo estável ^{15}N por Lara

Cabezas (1991), com a finalidade de auxiliar a pesquisa, sobre o potencial de perdas gasosas de N da vinhaça aplicada ao solo.

Pelo exposto, o objetivo do presente trabalho é avaliar as transformações do N das fontes (uréia e vinhaça) por meio da técnica isotópica com ^{15}N , quando a uréia, a vinhaça e palha de cana-de-açúcar são incorporadas ao solo, de forma isolada ou combinada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O nitrogênio no solo encontra-se na maior parte (95 a 99%) na forma orgânica, e em outras formas que compõem o húmus. Desta forma, apresenta grande resistência à decomposição devido à formação de complexos organo-minerais com as argilas e, possivelmente, com os óxidos de ferro e alumínio (Alexander, 1977). O teor de N orgânico na camada arável dos solos tropicais varia de 0,07 a 0,3%, com uma taxa de mineralização de aproximadamente 2% ao ano, o que equivale a uma quantidade de N mineralizado que varia de 40 a 180 kg ha⁻¹ ano⁻¹.

Os processos de transformação de nitrogênio no solo são: mineralização (amonificação e nitrificação), imobilização e desnitrificação. A mineralização é o processo pelo qual o N orgânico é convertido em N mineral, o qual pode ser absorvido pelas plantas ou utilizado pelos próprios microrganismos, num processo denominado imobilização. A imobilização é temporária, havendo liberação do N ao solo após a morte e decomposição dos microrganismos (Jenkinson & Powlson, 1976). A mineralização do N é um processo favorável à disponibilidade de N para as plantas, que compreende basicamente três etapas fundamentais: amonificação, (processo

(processos pelos quais o íon amônio é oxidado a nitrito e nitrato, respectivamente) por microrganismos específicos (Sorensen, 1981). A imobilização é caracterizada pela utilização do N mineral disponível durante o metabolismo microbiano, ocorrendo simultaneamente à mineralização.

A predominância entre os processos de mineralização e imobilização, depende da relação C/N e da maior ou menor facilidade de decomposição da matéria orgânica, além da concentração e atividade dos microrganismos do solo (Franco & Munns, 1982¹ citado por Alves, 1989). Uma relação C/N menor que 20/1 resulta na mineralização líquida de nitrogênio, enquanto uma relação C/N superior a 20/1 resulta numa imobilização líquida do elemento, até que a relação C/N baixe, quando então a mineralização líquida é reiniciada.

A desnitrificação é o processo de respiração anaeróbia que resulta em perdas gasosas de N, ou seja, trata-se do processo de redução bioquímica do nitrato ou nitrito à formas gasosas de N, principalmente N₂ e N₂O. A desnitrificação biológica, e a volatilização de amônia constituem as mais importantes vias de perdas gasosas de N do solo (Colaço, 1988).

As transformações do N orgânico em N mineral dependem também de fatores como pH, umidade, temperatura, fornecimento de oxigênio, natureza e quantidade dos resíduos orgânicos do solo, os quais, por sua vez, afetam a atividade dos diversos microrganismos do solo.

¹ FRANCO, A.A.; MUNNS, D.N. Plant assimilation and nitrogen cycling, Plant and Soil., v.67. p.1-3, 1982.

2.1 Transformações do N-vinhaça e do N-uréia no solo

Sabe-se que o grande reservatório de nitrogênio no solo é a matéria orgânica, e que a liberação do N mineral para a solução do solo é determinada pela atividade microbiana, assim como, por diversos fatores que estarão regulando o seu aproveitamento pela cultura (drenagem, topografia, textura do solo, práticas culturais, umidade e temperatura). A vinhaça quando aplicada ao solo provoca, temporariamente, alterações na população microbiana que acarretam mudanças diversas nos processos químicos e biológicos como: elevação do pH, mineralização, imobilização, desnitrificação e fixação biológica do nitrogênio (Lima, 1980).

Ao se definir a necessidade de substituir a fertilização mineral com a vinhaça ou de complementá-la com fertilizante nitrogenado, é necessário avaliar os efeitos de sua aplicação na dinâmica do nitrogênio no solo e sua influência sobre a microbiota, assim como, identificar o destino do nitrogênio proveniente da vinhaça no solo, uma vez que, em última instância, a resposta efetiva da cana-de-açúcar será o produto da interação de quatro fontes nitrogenadas principais: N-nativo do solo, N-fixado biologicamente, N-vinhaça e N-fertilizante. Nesse sentido, a técnica isotópica, com a utilização de fertilizantes marcados com ^{15}N , como também, da vinhaça marcada com o isótopo estável, mediante o estabelecimento de delineamentos experimentais adequados, permitem contribuir para o esclarecimento dos aspectos mencionados.

Até o presente, poucos trabalhos foram desenvolvidos nesse sentido, e os que existem são limitados às condições de laboratório, utilizando altas doses de vinhaça, muito acima das recomendações indicadas para condições de campo (Velloso *et al.*, 1982; Nunes *et al.*, 1981; Amaral Sobrinho *et al.*, 1983; Neves *et al.*, 1983 e Tauk & Ruegger, 1987). Embora esses estudos não permitam efetuar extrapolações, principalmente em termos quantitativos dos fenômenos estudados, são válidos sob o ponto de vista qualitativo e, portanto, representam os fenômenos que devem estar acontecendo em condições de campo, sob influência da vinhaça aplicada.

Solos incubados com doses de vinhaça acompanhada da adição de N-NO_3^- mostraram acréscimos no teor de N-NH_4^+ em função do período de incubação e das doses de vinhaça utilizadas (Amaral Sobrinho *et al.*, 1983; Nunes *et al.*, 1981).

Camargo *et al.* (1987) estudaram a dinâmica das formas de N no solo tratado com vinhaça e constataram que o teor de nitrato em todos os tratamentos quase sempre foi maior que o de amônio.

Camargo *et al.* (1984), ao incorporarem vinhaça “in natura” ao solo, constataram a ocorrência de uma rápida fase de mineralização resultante de um “priming effect” (efeito promovedor)² devido à introdução de material orgânico, do reumedecimento da amostra de solo e do aumento da mineralização em função da taxa de mineralização maior que a de imobilização. Os autores constataram também, após sete dias, uma bipartição do N amoniacal entre imobilização e formação de nitrato.

² Efeito promovedor aparente do fertilizante nitrogenado (Colaço, 1988).

Decorridos 30 dias observaram diminuição na produção de nitrato, sendo a produção de nitrato aos 60 dias, maior que a testemunha.

Amaral Sobrinho *et al.* (1987) observaram transformações do N mineral em um podzólico vermelho amarelo tratado com vinhaça e adição de amônia e concluíram que houve aumento de N-NH_4^+ nos 30 dias iniciais e de $\text{N-N}_2\text{O}$ nos 15 dias iniciais. Verificaram também que ocorreu aumento do N-orgânico nas seis semanas iniciais, o que provocou maior disponibilidade de N-NO_3^- após esse período.

Em condições de campo, Vietes & Brinholi (1990) observaram acréscimos de N-NH_4^+ no período de 98 a 220 dias após a aplicação da vinhaça, na profundidade de até 20 cm. Nesse sentido, foi sugerida a amonificação do N-orgânico nativo do solo e/ou do N-orgânico da vinhaça, dada a alta proporção de N-solúvel prontamente mineralizável. Também foi sugerido que parte do N-NO_3^- contribuiu, através do processo de redução dissimilatória.

Por outra parte, o N-NO_3^- desaparece logo após a incubação do solo com vinhaça. Amaral Sobrinho *et al.* (1983) sugerem que esse fenômeno seja devido à desnitrificação, dada a expressão de pulsos de N-NO_2^- e de N_2O verificados. A presença de material energético no solo, fornecido pela vinhaça, demandaria O_2 para atender as necessidades metabólicas microbianas e, portanto, o N-NO_3^- seria reduzido. Os autores verificaram perda de 18% do N-NO_3^- sob a forma volátil, e um desaparecimento de 27% do N-mineral devido ao processo de imobilização.

Estudando a lixiviação de N-NH_4^+ e N-NO_3^- , Velloso *et al.* (1982), observaram que a aplicação de vinhaça ao solo promoveu aumento nos teores de N-NH_4^+ lixiviados, devido, provavelmente, ao deslocamento dos sítios de troca pelo K^+ , nos quais o íon NH_4^+ deveria ser preferencialmente adsorvido. O N-NO_3^- diminuiu nos lixiviados, sendo também sugerida sua desnitrificação. Os autores compararam os efeitos da vinhaça na redução das perdas de NO_3^- e no aumento de NH_4^+ e verificaram que o primeiro é mais acentuado. Na dose de $400 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça complementada, Velloso *et al.* (1982) verificaram que ocorreram dois eventos simultâneos: redução da lixiviação de NO_3^- em aproximadamente 30 ppm e aumento de NH_4^+ em torno de 4 ppm.

Acréscimos no teor de N-orgânico do solo também têm sido informado em solos incubados, em função de doses crescentes de vinhaça (Amaral Sobrinho *et al.*, 1983, 1987; Carnaúba *et al.*, 1989).

Coelho (1990), estudando a influência da vinhaça nas características químicas da matéria orgânica de um latossolo vermelho, constatou que este resíduo não promoveu alterações qualitativas nas substâncias húmicas do solo e, quando aplicado com fertilizante mineral, promoveu a incorporação superficial de N-orgânico ao solo.

Ao avaliarem as concentrações de N total em solo podzólico vermelho-amarelo tratado com doses de vinhaça de até $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, Lima (1980) e Nunes *et al.* (1981) não verificaram alterações nessa variável. Entretanto, Rossiello *et al.* (1981), utilizando solo semelhante, constataram um aumento no teor de N total após 35 dias da aplicação de $1.600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de

vinhaça. Camargo *et al.* (1983) observaram também um aumento considerável nas concentrações de N total do solo; segundo os autores esse fato está diretamente relacionado às alterações ocorridas nos teores de carbono.

Em relação às alterações nas relações C/N do solo em função da aplicação da vinhaça, Lima (1980) observou aumentos significativos, sendo os mesmos atribuídos aos acréscimos nos valores de carbono. Entretanto, Nunes *et al.* (1981) não verificaram alterações nessa relação em um podzólico vermelho-amarelo. Essa relação, que na vinhaça varia de 16 a 22, atingiu valores médios entre 9 e 10 em solo tratado por um longo período de tempo com vinhaça, indicando ter havido um equilíbrio, isto é, ter sido alcançada dessa forma, certa estabilidade da matéria orgânica (Camargo *et al.*, 1983).

Minhoni & Cerri (1987) observaram aumento da biomassa microbiana quando da aplicação de vinhaça ao solo. Por sua vez, Lopes *et al.* (1986) observou que seis meses após a aplicação da vinhaça, nas dosagens de 100 a 1000 m³ ha⁻¹, ela ainda influenciava, aumentando a atividade respiratória do solo.

A estimulação da atividade da nitrogenase foi observada por Neves *et al.* (1983) em solo incubado com doses de vinhaça de até 1.200 m³ ha⁻¹, complementadas com Mo e fósforo, permitindo calcular uma fixação equivalente, da ordem de 25kg ha⁻¹ de N. A atividade dos microrganismos fixadores foi acentuada, sendo precedida dos microrganismos não fixadores, estimulados pela presença do N-solúvel da vinhaça. Encontraram, os autores,

uma variação qualitativa na população microbiana dos solos, ao longo do tempo. As bruscas transformações microbiológicas pela adição da vinhaça ocasionaram elevação do pH de 4,4 para 6,0 após início da incubação, que se manteve durante 66 dias de incubação.

Camargo (1954) verificou que a adição da vinhaça ao solo aumenta a quantidade de microrganismos a qual somente tendeu a decrescer após aproximadamente 30 dias da adição da vinhaça. Observou também que o grande número de colônias encontrado é um índice de elevação de fertilidade resultante da aplicação da vinhaça. Os autores mostraram que o efeito inicial da vinhaça favorecia o crescimento de fungos dos gêneros *Neurospora*, *Aspergillus* e *Penicillium*, entre outros, sendo mais expressivo, em solos mais argilosos. Posteriormente, com a diminuição da acidez pelo ataque fúngico da matéria orgânica coloidal da vinhaça, seria favorecido o crescimento bacteriano. Tauk & Ruegger (1987) observaram esses efeitos até cinco meses após a aplicação de 200 a 500 m³ ha⁻¹ equivalente da vinhaça. Segundo Neves *et al.* (1983), todas as mudanças nos processos biológicos provocadas pela adição de vinhaça ao solo são temporárias, desaparecendo com a exaustão dos substratos energéticos presentes na vinhaça. Dematê (1992) afirmou que a ação da vinhaça é variável, contudo mais acentuada em solos arenosos que em argilosos, e que a matéria orgânica adicionada através desse resíduo tende a se mineralizar dentro do período de um ano.

Mattiazzo & Glória (1985) verificaram o efeito da atividade microbiana na acidez de solos tratados com e sem vinhaça. Nos tratamentos com solo e vinhaça (500 m³ ha⁻¹) observaram uma queda inicial no pH, com

posterior elevação e que voltava a se igualar à testemunha aos 21 dias para um solo areias quartzosas, 79 dias para um podzólico e 81 dias para um latossolo. Os autores concluíram que a oxidação da matéria orgânica influiu diretamente na elevação do pH do solo, e que a atividade microbiana é responsável por essa oxidação. Almeida (1953) propõe a primeira explicação para o incremento no valor do pH de solos que receberam vinhaça: “deve-se ao aumento da população microbiana que, atacando a matéria orgânica e decompondo-a parcialmente, causa a diminuição da acidez”.

O efeito da vinhaça sobre o pH do solo varia com a textura dos mesmos. Ferreira (1980) observou que a aplicação de doses de vinhaça de até $1.600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ promoveram incrementos de 2,1 unidades no valor do pH de solo de textura arenosa, sendo esse aumento superior aos dos solos de textura média e argilosa.

A diminuição do pH do solo é também dependente do tempo transcorrido após aplicação do resíduo. IAA/Planalsucar (1983) desenvolveu estudos em vasos com solos tratados com vinhaça, e observou aumento do pH (de 4 para 5) no início da incubação; após duas semanas ocorreu lenta diminuição no sentido de retornar a valores próximos aos iniciais. Rezende (1979) verificou incremento no valor pH do solo, após 15 dias da aplicação da vinhaça, e diminuição, quando a amostragem de solo foi efetuada aos 60 e 120 dias após aplicação do resíduo. Resultados semelhantes foram obtidos por Lima (1980), trabalhando com um podzólico vermelho amarelo com doses de 150 e $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Em relação à dosagem aplicada ao solo, esta exerce grande influência no pH. Neste sentido, Lima (1980), utilizando doses mais elevadas (600 e 1.200 m³ ha⁻¹), verificou que o efeito no pH do solo foi mantido até um período de 66 dias de incubação. Santos *et al.* (1981) observaram que o período de 7 dias após a aplicação de 200m³ ha⁻¹ era suficiente para elevar o pH do solo, ao passo que para 30 dias de incubação, acréscimos nessa variável somente foram conseguidos com doses superiores a 800 m³ ha⁻¹. Desta maneira fica evidenciado, que os efeitos da vinhaça no pH do solo são efêmeros, voltando aos valores originais após um determinado período de tempo (Rodella *et al.*, 1983).

Em relação ao destino do N-fertilizante, Carnaúba *et al.* (1989), utilizando sulfato de amônio-¹⁵N (100 kg ha⁻¹ de N) e complementando a aplicação com doses equivalente de vinhaça de 120 m³ ha⁻¹, observaram por um período de 108 dias em experimento de incubação, decréscimo gradual do N-NH₄⁺ do fertilizante, acompanhado por acréscimo correspondente no teor de N-orgânico devido à imobilização, e recuperação mais baixa do N-fertilizante no solo com adição de vinhaça, até os 70 dias de incubação. Os autores sugeriram perdas gasosas e também lixiviação, que não foram determinadas. Por sua vez, Almeida *et al.* (1982), utilizando a mesma fonte enriquecida com ¹⁵N em um latossolo vermelho-escuro, textura média, incubado com dose equivalente a 200m³ ha⁻¹ de vinhaça, já tinham verificado o efeito estimulante da vinhaça no processo de imobilização do N-fertilizante nos primeiros 15 dias de incubação; observaram, ainda, que no final do período, 38% em média do N-fertilizante havia passado à fração orgânica.

Também atribuíram perdas de N no balanço final, em virtude do processo de desnitrificação.

Lara Cabezas *et al.* (1987), verificaram perdas de material orgânico nitrogenado volátil de áreas tratadas com vinhaça, conjuntamente às perdas por volatilização de N-NH₃. Concluíram os autores que as perdas gasosas da vinhaça poderiam ser expressivas. Lara Cabezas *et al.* (1994), quando incubaram solos com as fontes vinhaça e uréia marcadas com ¹⁵N por 17 dias em recipientes dotados de sistema de arraste de ar, observaram que ocorriam perdas de N dessas fontes, na forma amoniacal. No tratamento N-vinhaça com complementação mineral, foram de 56,8% e 12,7% nos solos LR e PV; no tratamento N-uréia com complementação de vinhaça, as perdas foram de 16% no solo LR e de 26,4% no solo PV, respectivamente.

Segundo Ernst & Massey (1960)³, citados por Terman (1979), grandes perdas de NH₃ da uréia aplicada na superfície do solo ocorrem durante a secagem e cessam quando sua superfície torna-se seca. Desse modo, a aplicação da uréia juntamente com a vinhaça facilita a volatilização do nitrogênio devido à umidade superficial gerada, a qual tende a evaporar. Por outro lado, segundo Zantua & Bremner (1976)⁴, citados por Terman (1979), a adição de glicose e outros materiais orgânicos ao solo estimulam a atividade biológica e, por conseguinte, a atividade da urease, incrementando a decomposição da uréia e a perda do nitrogênio na forma de NH₃.

Sampaio *et al.* (1984) realizou estudo sobre dinâmica de nutrientes em

³ ERNST, J.W. & MASSEY, H.F. The effects of several factors on volatilization of ammonia formed from urea in the soil. Soil Sci. Am. Proc., Madison: v. 24, p. 87-90, 1960.

⁴ ZANTUA, M.I. & BREMNER, J. M. Production and persistence of urease activity in soils. Soil Biol. Biochem., Oxford: v. 8, p. 369-374, 1976.

cana-de-açúcar e concluiu que aproximadamente 30 % do N aplicado na forma de uréia no solo foi perdido por lixiviação.

Embora os estudos em condições de laboratório sejam mais econômicos, mais precisos e permitam melhor controle das condições experimentais, esforços devem ser feitos no sentido de realizar também, estudos dessa natureza em condições de campo, de forma integrada com trabalhos de complementação mineral, dado que o sistema radicular e a rizosfera do solo interagem com as formas de N do solo e afetam suas transformações, assim como, a intensidade dos processos envolvidos (desnitrificação, volatilização de amônia, lixiviação, imobilização e nitrificação).

Estudos da dinâmica do nitrogênio no solo, associados a parâmetros do solo bem definidos, e integrados a estudos de complementação mineral à aplicação da vinhaça, são fundamentais para definir a contribuição real dessas fontes de N para a soqueira de cana-de-açúcar. O uso da vinhaça marcada com ^{15}N , associado à utilização de fertilizante enriquecido com esse isótopo, virá possibilitar definir várias questões, entre as quais e se deve enfatizar:

- o destino do N-vinhaça no solo, sua interação com os processos de imobilização, mineralização, lixiviação, perdas gasosas e sua disponibilidade para a cultura;
- o efeito no N-orgânico do solo e sua disponibilidade para a cultura;
- o destino do N-fertilizante no solo, e sua disponibilidade para a cultura;

- a quantificação do N residual no solo, proveniente da vinhaça e do fertilizante, e seu efeito residual para o próximo corte da soqueira, e
- o efeito da incorporação da palha da cana-de-açúcar ao solo, nas transformações do N-vinhaça e N-fertilizante mineral, tendo em vista que, num futuro próximo, a queimada dos canaviais no Estado de São Paulo, será proibida por lei.

2.2 A problemática do manejo da adubação nitrogenada de canaviais, com colheita de cana crua (cana sem despalha a fogo)

A queima de canaviais, previamente à colheita da cana, é prática generalizada no país, embora algumas companhias venham se empenhando no sentido de desenvolver alternativas para evitá-la. Com isso, busca-se preservar o ambiente, no que concerne ao ar e ao solo, e garantir à indústria uma matéria-prima de melhor qualidade.

Do ponto de vista agronômico, a prática da queima da cana ocasiona, segundo Delgado (1985), alguns problemas de certa relevância, tais como a destruição da palhada da cana, que seria incorporada ao solo ou deixada na superfície; a predisposição do solo à ação mais agressiva da água da chuva; a perda mais rápida da água do solo por evaporação devido à menor retenção no solo; a destruição de muitos organismos e principalmente insetos, inimigos naturais das pragas da cana e a predisposição do solo ao desenvolvimento de ervas daninhas.

As maiores perdas de N no sistema solo-planta também são provocadas pela queimada antes da colheita da cana e, às vezes, pela requeimada da palha. Fauconier & Bassereau (1975) indicaram perdas por volatilização de 100 a 120 kg de N para 100 Mg de colmo colhido em consequência da queima.

A queima da cana antes da colheita e a queima muitas vezes dos restos da cultura (palhada) leva à diminuição no teor de matéria orgânica do solo (Sampaio, 1991), o que é agravado pela diminuição da qualidade desta, com redução nos teores de N potencialmente mineralizável (Ayanaba *et al.*, 1976), prejudicando a produtividade da cana-de-açúcar e o nível de matéria orgânica e nitrogênio do solo, a longo prazo (Boddey *et al.*, 1993).

Por outro lado, segundo Delgado (1985), a prática da queima da cana facilita os trabalhos de aração do solo na reforma dos canaviais, as práticas de cultivo de soqueiras, a eliminação da broca da cana e o corte manual.

A deposição da palha sobre a superfície do solo na colheita da cana crua (cana sem queimar) é prática que vem sendo realizada na Austrália (Freney *et al.*, 1992) por facilitar o controle de ervas daninhas, melhorar a conservação da umidade do solo, reduzir as emissões de CO₂ e fuligem durante a queima de canaviais, e aumentar o teor de matéria orgânica do solo. Entretanto, a presença de resíduos da cultura (palha) na superfície do solo após a colheita, resulta em problemas nas operações de cultivo e adubação, com reflexos na nutrição da cultura e, por consequência, na produtividade. Esta prática também vem sendo aplicada na Usina Cruangi, em Pernambuco, por mais de trinta anos em quase toda a área plantada.

Boddey *et al.* (1993) observaram que, com a manutenção da palha, ocorreu um acúmulo de N e matéria orgânica no solo, sendo que a partir da segunda soca a produtividade da cana foi, em média, 23% maior ($12,5 \text{ Mg ha}^{-1}$), e além disso, o uso de herbicida foi bastante reduzido.

No que se refere à adubação nitrogenada, e uma vez que não só na Austrália, como também em nosso país, o adubo nitrogenado mais usado é a uréia, um sério problema está relacionado às prováveis perdas por volatilização de NH_3 . Freney *et al.* (1992) verificaram perdas de até 40% do N-uréia aplicado em área total (dose de aplicação de 160 kg ha^{-1} de N) as quais foram devidas principalmente à elevada atividade da urease e à baixa capacidade de retenção de amônia da palha depositada sobre o solo, e também, a fatores do solo. No entanto, a uréia favorece a mineralização do N da palha. Sampaio *et al.* (1990), acompanhando o efeito da uréia na mineralização do N proveniente da palha de milho enriquecida com ^{15}N e incorporada ao solo, bem como a absorção de N por plantas de sorgo, verificaram que cinco meses após a incorporação, o sorgo absorveu 33% e 19% do N palha, respectivamente, nos tratamentos com e sem aplicação de uréia.

2.3 Transformação do N no solo após incorporação de material vegetal

Após a incorporação de material vegetal ao solo, e desde que haja condições favoráveis, inicia-se o processo de mineralização. Segundo Paul

Van Veen (1978), as taxas de mineralização assumem maiores valores no início da decomposição pelos microrganismos do solo, provavelmente devido à presença de compostos orgânicos de fácil decomposição. Sampaio (1991), em estudo de mineralização da matéria orgânica do solo, verificou que este processo começa muito rápido e vai declinando com o tempo, sendo que o N mineral acumulado nas primeiras semanas de incubação corresponde a uma grande parte do N potencialmente mineralizável. Atribui-se este fluxo inicial à mineralização de parte da biomassa microbiana do solo, morta durante o manuseio do solo. Processo semelhante, provavelmente, ocorre durante o preparo do solo para plantio da cana-de-açúcar quando são incorporados materiais vegetais provenientes dos restos culturais e de plantas que se desenvolveram durante o período de pousio, resultando em um suprimento inicial grande de N para as plantas.

A mineralização de materiais vegetais incorporados ao solo depende principalmente da relação C:N desses, do clima e do solo. Com a incorporação ao solo de resíduos de relação C:N baixa ($< 25:1$), a mineralização do N predomina sobre a imobilização, o inverso ocorrendo com a adição de resíduos de relação C:N alta ($> 25:1$) (Allison, 1973).

Freitas *et al.* (1988) incorporaram um resíduo com relação C:N=26 e com teor de nitrogênio pouco acima da faixa crítica de 1,0% a 1,3%, estabelecida por Bartholomew & Clark (1965), e observaram imobilização de N já aos dez dias de incubação, mantendo-se assim durante os noventa dias de incubação. Quando adicionaram nitrato de amônio, a relação C:N

abaixou para 15 e o resíduo ocasionou imobilização de amônio e nitrato aos cinquenta dias de incubação.

Segundo Craswell (1978), a imobilização temporária do N pode ser benéfica porque reduz as perdas por lixiviação e desnitrificação. Peruzzo (1982) verificou reduções nas perdas de até 63% com a incorporação de resíduos orgânicos ao solo.

A incorporação de resíduos causa imobilização temporária do N do solo, mas dificilmente prejudicaria uma cultura de ciclo longo como a cana-de-açúcar porque em menos de três meses o processo já tende para a mineralização (Sampaio, 1991).

Após a incorporação de resíduos, se as condições de umidade e aeração forem favoráveis, haverá intensa proliferação microbiana devido à energia fornecida pelos compostos orgânicos. A biomassa microbiana contribui com nutrientes às plantas, uma vez que parte das células pode morrer devido a mudanças nas condições ambientais (Lopes *et al.* 1985). Marumoto *et al.* (1982) submeteram solos a tratamentos de secagem e umedecimento, e observaram que após 8 semanas, 77% do N mineralizado foram provenientes da biomassa morta.

A mineralização de material vegetal no solo tem sido estudada por vários pesquisadores (Yoneyama & Yoshida, 1977; Ladd *et al.* 1981; Terry *et al.* 1981). Parsons *et al.* (1975) verificaram que 120 dias após a incorporação ao solo de alfafa marcada com ^{15}N , cerca de 30 a 40% do N tinham sido mineralizados. Piccolo (1989) verificou que a forma de N mineral predominante da decomposição de resíduos vegetais em solos da

Amozônia era o NH_4^+ . Boddey *et al.* (1993) observaram aumentos nos teores de nitrato após a incorporação de torta de filtro como adubo nitrogenado. Os autores sugeriram que a torta tenha atuado diretamente na nitrificação e não encontraram efeito sobre o teor de amônio. Scherer & Mengel (1981) observaram que os tratamentos com incorporação de palha apresentaram teores de nitrato menores que os sem palha. Diante dessas observações pode-se aceitar que os materiais orgânicos podem ter efeitos diversos sobre a nitrificação em solos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Solos

Foram utilizadas amostras de terra, secas ao ar, tamisadas (2,0 mm), provenientes da camada 0-20 cm de um latossolo roxo (LR), textura muito argilosa, e de um podzólico vermelho amarelo (PV), textura arenosa, cultivados com cana-de-açúcar. Algumas características físicas e químicas dos solos encontram-se no apêndice 1.

3.2 Vinhaça

Foi utilizada nos experimentos vinhaça de composição natural de ^{15}N e vinhaça marcada com ^{15}N (3,629 átomos % de ^{15}N). A vinhaça- ^{15}N foi obtida por diluição isotópica de amostra-estoque de vinhaça contendo aproximadamente ± 30 átomos % de ^{15}N , produzida bioquimicamente em laboratório, (Lara Cabezas, 1991) através do procedimento FELE (fermentação com levêdo marcado com ^{15}N). A diluição do estoque foi feita com vinhaça de composição natural em ^{15}N . A composição química e o fracionamento de nitrogênio (N-total, N-solúvel e N-insolúvel) realizadas

fracionamento de nitrogênio (N-total, N-solúvel e N-insolúvel) realizadas conforme Lara Cabezas (1991) da vinhaça natural e da vinhaça marcada com ^{15}N , usadas nos experimentos, encontram-se nos apêndices 2 e 3, respectivamente.

3.3 Uréia

Foi utilizada uréia marcada isotopicamente com ^{15}N e uréia reagente p.a. Merck (uréia não marcada com ^{15}N). A uréia marcada com ^{15}N (7,800 átomos % ^{15}N) foi produzida conforme Bendassolli *et al.* (1988 a e b) no laboratório de produção de isótopos estáveis do CENA/USP.

3.4 Palha

Utilizou-se de palha de cana-de-açúcar (folha + bainha) na dose de 1,1 g 50g^{-1} solo, não marcada com ^{15}N , seca e moída, contendo 0,510 e 0,365 g kg^{-1} de N-NH_4^+ e de N-NO_3^- , respectivamente, e 3,1 g kg^{-1} de N-total.

3.5 Experimentos

Foram realizados dois experimentos independentes, em épocas distintas, cada qual com um tipo de solo, em delineamento inteiramente casualizado. Os tratamentos e as doses estabelecidas para os solos são informados na tabela 1.

As parcelas foram constituídas de 50g de TFSA, mantidas em copos de plástico (capacidade de 100 ml) e umedecidas a uma fração pré-determinada ($\pm 80\%$) da capacidade de retenção de água de cada solo, (solo PV, correspondendo a 12 ml.50g⁻¹ solo; solo LR, correspondendo a 19,5 ml 50 g⁻¹ solo). A terra foi umedecida com volumes equivalentes de vinhaça, solução de uréia e água desionizada, conforme o tratamento, considerando a profundidade de 3,5cm. As amostras de solo foram incubadas por 7, 14, 21, 28 e 35 dias.

Ao final de cada período de incubação, seis parcelas de cada tratamento e de cada solo foram coletadas, sendo três destinadas às determinações de N-total e as demais às determinações dos teores de N- mineral: N-NH₄⁺ e

Tabela 1 -Tratamentos e doses de vinhaça, uréia e palha nos experimentos de incubação dos solos PV e LR, em laboratório.

Tratamento ⁽¹⁾	<u>Dose equivalente de</u>					
	<u>Vinhaça</u>		<u>N-uréia</u>		<u>Palha</u>	
	m ³ ha ⁻¹	mgN kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	mgN kg ⁻¹	t ha ⁻¹	g kg ⁻¹
T	----	----	----	----	----	----
V*	100	100	----	----	----	----
U*	----	----	100	220	----	----
V*+U°	100	100	100	220	----	----
V°+U*	100	100	100	220	----	----
U*+P°	----	----	100	220	10	22
V*+P°	100	100	----	----	10	22
V°+U*+P°	100	100	100	220	10	22
V*+U°+P°	100	100	100	220	10	22

⁽¹⁾ T= testemunha; V*= vinhaça-¹⁵N; V°= vinhaça-¹⁴N; U*= uréia-¹⁵N; U°= uréia-¹⁴N; P°= palha de cana-de-açúcar-¹⁴N.

$\text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$. A partir dos resultados do N mineral foram calculadas as taxas de transformações líquidas para os diferentes tratamentos e tempos de incubação.

Foi realizado, quando necessária, a reposição da água perdida por evaporação, nas parcelas experimentais (apêndice 4 e 5 respectivamente). A temperatura do laboratório foi monitorada, anotando-se diariamente os valores máximos e mínimos, durante o período experimental (apêndice 6).

Foram realizados experimentos com os dois solos contendo todos os tratamentos com abundância natural de ^{15}N , para determinações diárias de pH em CaCl_2 $0,01\text{mol L}^{-1}$ (relação solo: extrator de 1:2,5) durante o período experimental.

3.5.1 Determinação do N total do solo

As amostras para determinação do N total foram coletadas nos diferentes períodos de incubação, secas em estufa a 60°C por 72 horas, e posteriormente, processadas pelo método semi-micro Kjeldahl modificado de Bremner & Shaw (1958)⁵ - permanganato + ferro reduzido, para incluir nitrato e nitrito - seguindo metodologia estabelecida em Bremner & Mulvaney (1982). Após determinação do N total os destilados foram concentrados e levados para determinação da abundância de ^{15}N por espectrometria de massas (Trivelin *et al.*, 1973).

⁵Bremner, J. M. & Shaw, K. 1958. Denitrification in Soil. I. Methods of investigation. J. Agric. Sci. v.51, p. 22-39.

3.5.2 Determinação do N mineral (N-NH_4^+ e $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$) do solo

As amostras para determinação do N mineral foram coletadas e submetidas à extração imediatamente após cada tempo de incubação. A extração foi feita com solução de KCl 2 mol L^{-1} (3 partes de solução extratora : 1 parte de terra), segundo recomendação de Buresh *et al.* (1982), procedendo-se a destilação de cada extrato, primeiro com adição de óxido de magnésio para determinação do N-NH_4^+ e, em seguida, com liga de Dewarda para a determinação dos teores de $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$, conforme Keeney & Nelson (1982). Os extratos contendo as frações de N-amônio e N-nitrato ($\text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$) foram concentrados e reservados para a determinação de abundância de ^{15}N .

3.5.3 Determinação da Abundância de ^{15}N

Nos extratos com N total e com as frações de N-amônio e de N-nitrato foram determinadas as abundâncias de ^{15}N por espectrometria de massas (Trivelin *et al.*, 1973).

Nos cálculos do nitrogênio no solo derivado das fontes marcadas (Nsdff , % e mg kg^{-1} , para o N-total e para o N-mineral (N-NH_4^+ e N-NO_3^-), foram utilizadas as equações (1) e (2), deduzidas pelo princípio da diluição isotópica:

$$Nsdff (\%) = [(a - c)/(b - c)] \cdot 100 \quad (1)$$

$$Nsdff (\text{mg parcela}^{-1}) = (Nsdff (\%) / 100) \cdot NT \quad (2)$$

onde: a e b significam as abundâncias de ^{15}N (átomo %), respectivamente na amostra, após o período experimental, e na fonte original marcada com o isótopo, adicionada ao solo no início do experimento; c é a abundância natural de ^{15}N (0,366 átomos %) e NT é o nitrogênio total da amostra após o período experimental, em mg kg^{-1} .

O N total no solo derivado das fontes marcadas é representado por Ntsdff, o N mineral no solo derivado da uréia ou vinhaça é representado por Nminsdff, o N-NH_4^+ ou N-NO_3^- no solo derivado das mesmas fontes é representado por NH_4^+sdff e NO_3^-sdff .

Os resultados de N-total das amostras, em cada período de incubação, permitiram determinar as perdas gasosas totais (volatilização de NH_3 e desnitrificação de nitrogênio) das fontes marcada (Nvtsdff , mg kg^{-1}), pelo método indireto de balanço - ^{15}N , segundo expressão:

$$\text{Nvtsdff} = \text{NaF} - \text{Nsdff} \quad (3)$$

onde: NaF corresponde à quantidade de N da fonte- ^{15}N aplicada ao solo no início do experimento (tempo=0), e Nsdff ao nitrogênio residual total no solo derivado da fonte- ^{15}N , após o período de incubação (tempo=t), parâmetro esse determinado usando as expressões (1) e (2).

Nos cálculos das taxas de transformação líquida do N mineral do solo derivado das fontes marcadas ($T_{transliqNsdff}$ - $\text{mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) foi utilizada a equação abaixo:

$$T_{transliqNsdff(t_i)} = (N_{minsdf(t_i)} - N_{minsdf(t_0)}) / \Delta t$$

onde: $N_{minsdf(t_0)}$ corresponde ao N mineral no solo derivado da fonte marcada no início de cada período de incubação, $N_{minsdf(t_i)}$ corresponde ao N mineral no solo derivado da fonte ao final de cada período de incubação e Δt corresponde ao intervalo de tempo.

3.5.4 Análise estatística

Os resultados experimentais foram divididos apenas para fins didáticos, em dois blocos, segundo o fertilizante marcado - uréia marcada (U^*) e vinhaça marcada (V^*), com o objetivo de facilitar a compreensão do fracionamento do nitrogênio proveniente de cada uma das fontes.

Os resultados de cada índice de N derivado das referidas fontes foram trabalhados estatisticamente na seguinte seqüência:

1. Foram submetidos à análise de variância, sendo comparadas as médias pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%
2. Foi aplicada a análise de regressão polinomial tempo/tratamento quando o fator tempo foi significativo para definir as equações, sendo os níveis de significância avaliados/confirmados pelo teste F a 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As quantidades de N total, N-NH_4^+ e $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$ encontradas nos solos PV e LR, em diferentes tempos de incubação estão informadas no apêndice 7 e 8. Os resultados médios de ^{15}N (átomo%) de Ntotal, N-NH_4^+ e $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$ encontrados em ambos os solos estão nos apêndices 9 e 10. As quantidades e os resultados em átomo % serviram de base para o cálculo do nitrogênio derivado das fontes marcadas com ^{15}N nas diversas frações estudadas, de acordo com os tratamentos estabelecidos.

4.1 Nitrogênio total nos solos PV e LR derivado da uréia- ^{15}N e da vinhaça- ^{15}N (Ntsdff)

De modo geral, N total nos solos PV e LR derivado do fertilizante (Ntsdff), em diferentes tempos, revelaram-se significativamente mais elevados nos tratamentos com uréia- ^{15}N em relação aos com vinhaça- ^{15}N (tabela 2 e 3). Esses resultados obviamente refletem as diferentes quantidades de N-uréia e N-vinhaça adicionadas, ao início, isoladamente ou

Tabela 2 - N-total derivado das fontes marcadas (Ntsdff - mg kg⁻¹) no solo PV aos 7, 14, 21 28 e 35 dias de incubação.

Tratamentos	Tempo (dias)					
	Início ⁽¹⁾	7	14	21	28	35
	Ntsdff ⁽²⁾					
		mg kg ^{-l}				
U*	220	139,33 c	152,00 a	158,33 a	171,00 a	162,67 a
U*+V	220	156,00 bc	150,33 a	150,67 a	161,67 a	155,67 a
U*+P	220	184,33 a	166,33 a	164,67 a	166,00 a	157,67 a
U*+V+P	220	179,00 ab	166,67 a	151,67 a	160,67 a	188,00 a
V*	100	99,00 d	93,67 b	92,13 b	82,47 b	85,40 b
V*+U	100	85,73 d	82,03 b	80,03 b	74,83 b	71,73 b
V*+P	100	93,07 d	90,37 b	85,90 b	77,07 b	89,23 b
V*+U+P	100	99,00 d	81,53 b	81,53 b	82,77 b	79,43 b
Média		129,43	123,09	120,87	122,05	123,72
cv(%)		6,59	6,35	5,80	11,19	9,67
dms Tukey 5%		24,12	22,11	19,84	38,63	33,83

⁽¹⁾ Quantidade de N adicionada ao solo de cada material marcado, no início do experimento (tempo 0).

⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra dentro de cada coluna para os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Turkey ao nível de 5%.

Tabela 3 - N-total derivado das fontes marcadas (Ntsdff - mg kg⁻¹) no solo LR aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação.

Tratamentos	Início ⁽¹⁾	Tempo (dias)				
		7	14	21	28	35
		Ntsdff ⁽²⁾				
		mg kg ⁻¹				
U*	220	174,33 b	167,33 b	182,67 b	180,33 b	179,00 ab
U*+V	220	193,66 a	194,67 a	193,00 ab	190,33 ab	175,00 b
U*+P	220	188,50 a	164,33 b	175,67 b	198,67 a	172,00 b
U*+P+V	220	189,50 a	202,67 a	206,00 a	189,33 ab	194,33 a
V*	100	96,00 c	87,17 c	91,30 c	93,00 c	95,50 c
V*+U	100	95,60 c	96,20 c	96,50 c	89,67 c	90,84 c
V*+P	100	90,90 c	86,96 c	96,50 c	90,00 c	92,00 c
V*+P+U	100	96,70 c	95,27 c	95,33 c	99,00 c	92,00 c
Média		140,64	136,8	141,87	141,30	135,54
cv (%)		2,76	6,23	5,08	3,17	4,72
dms-Tukey 5%		10,97	24,10	20,41	12,68	18,08

⁽¹⁾ Quantidade de N adicionada ao solo de cada material marcado, no início do experimento (tempo 0).

⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra dentro de cada coluna para os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Turkey ao nível de 5%.

em conjunto, a cada solo que possuem características e propriedades próprias. Em relação aos tratamentos com uréia marcada os dados revelaram diferenças significativas aos 7 dias no solo PV, as quais não foram detectadas, portanto entre as quantidades determinadas nesses tratamentos, nos demais tempos avaliados. No solo LR, entretanto ocorreram diferenças significativas nos períodos estudados e nos mesmos tratamentos. Os maiores valores médios ocorreram no tratamento U*+V+P (aos 14 e 21 dias, respectivamente 202,67 e 206,00 mg kg⁻¹), entretanto na maior parte dos casos, os valores encontrados não diferiram dos obtidos no tratamento U*+V, e em alguns casos dos encontrados no U*+P. Também as quantidades de N_{tsdff} não se mostraram significativamente diferentes entre si no solo PV e LR para os tratamentos com vinhaça nos diferentes tempos de incubação. Os tratamentos incluindo uréia marcada e palha revelaram-se significativamente diferentes dos com vinhaça marcada e palha, nos dois solos.

O N total do solo apresenta-se como um índice pouco sensível às variações entre as diversas frações de N que o compõe. Este comportamento concorda com os resultados relatados por Lima (1980) e Nunes *et al.* (1981). Além disto é possível que as alterações na relação C/N tenham sido muito maiores que a capacidade de mineralização dos microrganismos, o que pode ter gerado um excedente de N mineralizável, aproximando assim, os resultados obtidos pelos diversos tratamentos estudados.

As pequenas diferenças entre os tratamentos com U*, verificadas no solo LR, podem ser, atribuídas em princípio, à maior umidade, no decorrer

do tempo, em relação à observadas no solo PV. Essas observações estão de acordo com os resultados encontrados por Dematê (1992).

Nota-se, ainda que os valores encontrados para todos os tratamentos com V* estão muito próximos ao valor aplicado inicialmente (100 mg kg^{-1}), sugerindo que o N da vinhaça provavelmente foi incorporado à massa microbiana do solo em consequência da alteração provocada na relação C/N, ou mesmo, foi mineralizado lentamente.

A análise de variância mostrou, que houve efeito significativo nas quantidades de Ntsdff, nos níveis eqüidistantes de tempo, revelando a regressão quadrática significativa para o tratamento U*+V+P ($r = 0,96$) e linear para os tratamentos U*, U*+P, V*+U+P no solo PV (apêndice 11). No solo LR a análise de regressão polinomial mostrou efeito significativo cúbico para o tratamento U*+P ($r = 0,97$), quadrático para U*+V+P ($r = 0,41$) e linear para os tratamentos U*+V e V*+U (apêndice 12).

4.2 Nitrogênio mineral total nos solos PV e LR derivado da uréia- ^{15}N e vinhaça- ^{15}N (Nminsdff)

Nas tabelas 4 e 5 encontram-se os resultados do nitrogênio mineral total (NH_4^+ , $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) derivado da uréia e da vinhaça marcadas com ^{15}N (U* e V*) nos solos PV e LR. Observa-se que as quantidades mais elevadas do N mineral derivado da uréia ocorreram no tratamento em que o fertilizante foi adicionado isoladamente (*U). Essas quantidades diferiram significativamente, das encontradas nos demais tratamentos, em todos os

Tabela 4 - N mineral total derivado das fontes marcadas (Nminsdf - mg kg^{-1}) no solo PV aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação.

Tratamentos	Tempo (dias)					Nminsdf ⁽²⁾	
	Início ⁽¹⁾	7	14	21	28		35
	mg kg ⁻¹						
U*	220	156,70 a	134,04 a	122,02 a	100,25 a	111,18 a	
U*+V	220	65,22 b	71,51 b	50,26 b	54,97 b	48,63 b	
U*+P	220	59,82 b	36,02 c	23,77 c	21,13 c	16,46 c	
U*+V+P	220	7,17 d	7,31 d	1,58 d	1,00 d	0,82 d	
V*	100	0,49 d	0,76 d	0,22 d	1,10 d	0,81 d	
V*+U	100	24,31 c	29,32 c	23,45 c	22,74 c	19,04 c	
V*+P	100	0,30 d	0,69 d	0,19 d	2,91 d	0,16 d	
V*+U+P	100	5,98 d	2,90 d	2,83 d	1,00 d	0,37 d	
Média		40,00	35,31	28,04	25,64	24,68	
cv(%)		6,9	14,45	9,3	10,29	16,15	
dms Tukey 5%		7,77	14,44	7,34	7,46	11,28	

⁽¹⁾ Quantidade de N adicionada ao solo de cada material marcado, no início do experimento (tempo 0).

⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra dentro de cada coluna para os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Turkey ao nível de 5%.

Tabela 5 - N-mineral total derivado das fontes marcadas (Nminsdff - mg kg⁻¹) no solo LR aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação.

Tratamentos	Tempo (dias)					
	Início ⁽¹⁾	7	14	21	28	35
	Nminsdf ⁽²⁾					
		mg kg ⁻¹				
U*	220	94,25 a	131,43 a	131,33 a	120,87 a	110,95 a
U*+V	220	54,87 c	67,62 b	65,28 b	55,00 b	38,22 b
U*+P	220	67,17 b	46,44 c	18,86 d	21,95 c	9,76 d
U*+P+V	220	9,97 de	6,10 e	4,25 e	4,28 d	2,79 e
V*	100	1,92 ef	1,63 ef	1,52 e	1,76 de	3,70 e
V*+U	100	12,45 d	20,96 d	23,42 c	20,75 c	19,67 c
V*+P	100	0,18 f	0,11 f	0,34 e	0,37 e	0,24 e
V*+P+U	100	0,83 f	0,49 f	1,32 e	2,28 de	3,52 e
Média		30,20	34,29	30,57	28,41	23,61
cv (%)		10,22	5,68	6,08	3,64	9,03
dms-Tukey 5%		8,74	5,51	5,26	2,93	6,03

⁽¹⁾ Quantidade de N adicionada ao solo de cada material marcado, no início do experimento (tempo 0).

⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra dentro de cada coluna para os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Turkey ao nível de 5%.

tempos, nos dois solos. A contribuição da vinhaça neste índice (Nminsdff) foi muito pequena ao longo do tempo. No geral, os tratamentos conjuntos que incluíram a adição de uréia marcada mostraram-se significativamente diferentes dos tratamentos conjuntos que incluíram a adição de vinhaça marcada, nos solos PV e LR, ao longo do tempo. Os tratamentos com uréia marcada mostraram-se significativamente diferentes entre si. Para os tratamentos com vinhaça marcada, apenas o V*+U diferiu estatisticamente dos demais, tanto no PV como no LR, mostrando valores maiores que os encontrados no tratamento com aplicação isolada e aqueles com adição de palha.

Evidenciou-se que os tratamentos que receberam adição de material orgânico (palha e/ou vinhaça), promoveram uma redução do N mineral independentemente da origem deste, e que a adição conjunta V*+P foi o tratamento que apresentou os menores valores de N mineral derivado da vinhaça, durante todo o período de incubação, em ambos os solos. Estes resultados podem ser atribuídos ao fato de que tanto a vinhaça como a palha constituem-se em fonte de carbono e nutrientes para a biota do solo (elevando a relação C/N do solo), incrementando o seu desenvolvimento e, conseqüentemente, fazendo com que parte do N mineral seja convertido a N orgânico pelos microrganismos do solo (a predominância entre os processos de mineralização e imobilização depende da relação C/N do solo); além disso, a vinhaça apresenta composição elevada de N solúvel, como sugere Lara Cabezas (1991), o que é também confirmado neste trabalho (apêndice 3).

Os resultados mostram que a presença da uréia em complementação da vinhaça (V^*+U) reduz a imobilização do N da vinhaça em ambos os solos ou favorece a mineralização dela. Já os resultados de U^*+V mostram que o N-uréia é imobilizado quando adicionado junto à vinhaça.

A análise de variância mostrou, nas quantidades de $N_{minsdff}$, que houve efeito significativo para níveis equidistantes de tempo, sendo significativa a regressão linear para todos os tratamentos com U^* e para os tratamentos V^*+U e V^*+U+P no solo PV (apêndice 11). No solo LR foi significativa a regressão quadrática para o tratamento com U^* isoladamente e para o tratamento conjunto V^*+U ($r = 0,85$ e $0,91$, respectivamente), e regressão linear para os demais tratamentos com uréia (apêndice 12).

4.3 $N-NH_4^+$ nos solos PV e LR derivado da uréia- ^{15}N e vinhaça- ^{15}N ($N-NH_4^+sdff$)

As quantidades do $N-NH_4^+$ derivado das fontes marcadas com ^{15}N , ($N-NH_4^+sdff$), determinadas em diferentes tempos de incubação, revelaram-se significativamente diferentes entre os tratamentos com uréia e vinhaça marcadas, nos dois solos, na análise de comparação de médias (tabelas 6 e 7). Em relação aos tratamentos com uréia, os resultados mostraram também diferenças significativa entre si. Já nos tratamentos com aplicação de vinhaça marcada somente o subtratamento V^*+U diferiu dos demais tratamentos, isto em ambos os solos estudados.

Tabela 6 - N-NH_4^+ derivado das fontes marcadas (N-NH_4^+ sdff - mg kg^{-1}) no solo PV aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação.

Tratamentos	Início ⁽¹⁾	Tempo (dias)				
		7	14	21	28	35
		N-NH ₄ ⁺ sdff ⁽²⁾				
		mg kg ⁻¹				
U*	220	150,20 a	121,42 a	85,26 a	60,41 a	49,56 a
U*+V	220	64,62 b	67,92 b	46,75 b	48,11 b	33,78 b
U*+P	220	56,90 c	32,73 c	13,55 d	8,70 d	5,70 d
U*+V+P	220	6,55 e	6,78 c	1,16 e	0,50 e	0,18 e
V*	100	0,30 e	0,61 d	0,15 e	0,99 e	0,73 ed
V*+U	100	23,67 d	27,87 c	21,97 c	20,89 c	12,64 c
V*+P	100	0,27 e	0,57 d	0,17 e	2,85 e	0,13 e
V*+U+P	100	5,52 e	2,71 d	2,46 e	0,55 e	0,14 e
Média Geral		38,49	32,58	21,43	17,87	12,87
cv(%) =		6,81	16,27	11,05	10,2	15,08
dms Tukey 5%		7,41	14,99	6,70	5,16	5,48

⁽¹⁾ Quantidade de N adicionada ao solo de cada material marcado, no início do experimento (tempo 0).

⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra dentro de cada coluna para os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Turkey ao nível de 5%.

Tabela 7 - N-NH_4^+ derivado das fontes marcadas (N-NH_4^+ sdff - mg kg^{-1}) no solo LR aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação.

Tratamentos	Início ⁽¹⁾	Tempo (dias)				
		7	14	21	28	35
		N-NH ₄ ⁺ sdff ⁽²⁾				
		mg kg ⁻¹				
U*	220	88,24 a	122,58 a	122,13 a	107,57 a	97,53 a
U*+V	220	53,20 c	61,83 b	59,66 b	47,05 b	27,37 b
U*+P	220	63,44 b	41,69 c	8,98 d	3,15 d	0,33 d
U*+P+V	220	8,56 de	4,76 e	1,12 e	1,00 d	0,68 d
V*	100	1,72 b	1,12 e	0,63 e	0,86 d	0,96 d
V*+U	100	12,08 a	19,84 d	20,61 c	18,17 c	16,08 c
V*+P	100	0,14 b	0,13 e	0,30 e	0,25 d	0,20 d
V*+P+U	100	0,56 b	0,31 e	0,72 e	0,85 d	1,01 d
Média		28,49	31,53	26,77	22,36	18,02
cv (%)		10,30	6,69	5,43	5,37	18,69
dms-Tukey 5%		8,30	5,97	4,11	3,40	9,53

⁽¹⁾ Quantidade de N adicionada ao solo de cada material marcado, no início do experimento (tempo 0).

⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra dentro de cada coluna para os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Turkey ao nível de 5%.

As quantidades mais elevadas de N-NH_4^+ ocorreram no tratamento com uréia em todas as épocas. Os demais tratamentos com uréia, de modo geral, revelaram valores mais baixos que os de U^* , diferindo significativamente entre si, em ambos os solos. Os resultados informam a ocorrência da hidrólise da uréia marcada, nos tratamentos em que ela foi aplicada isolada ou combinadamente, e a presença de materiais ricos em carbono (vinhaça e palha) reduziu a disponibilidade da forma amoniacal derivada da uréia. De modo geral as quantidades diminuíram com o decorrer do tempo de incubação, embora, em alguns, casos tenham se verificado aumentos nas quantidades do N-NH_4^+ dos 7 aos 14 dias.

As quantidades do N-NH_4^+ derivado da vinhaça presente nos dois solos, em diferentes tempos de incubação, de modo geral foram baixas, embora o tratamento V^*+U tenha revelado maiores quantidades que os demais. Os resultados sugerem que a uréia intensifica o processo de mineralização do N-vinhaça favorecendo uma maior disponibilidade de N-NH_4^+ derivado dela. As variações entre as médias dos solos PV e LR sugerem que o N-NH_4^+ derivado da vinhaça foi influenciado pela natureza do solo, refletindo diferenças em características e propriedades como textura, umidade, aeração, entre outras, que provavelmente afetam a atividade dos microrganismos responsáveis pela mineralização. Os tratamentos V^* , V^*+P e $\text{V}^*+\text{U}+\text{P}$ não diferiram entre si. Nesses casos, as baixas quantidades do N-NH_4^+ derivado da vinhaça presentes nos dois solos em diferentes tempos de incubação, podem ser atribuídas à imobilização do

N da vinhaça pela microbiota em resposta a adição da vinhaça e da palha que apresentam elevada relação C/N.

A análise de variância mostrou nas quantidades de N-NH_4^+ derivado da uréia (U^*), que houve efeito significativo para os níveis equidistantes de tempo, sendo significativa a regressão linear em todos os tratamentos, no solo PV. Nas quantidades do N-NH_4^+ derivado da vinhaça foi significativa a regressão linear, para o tratamento V^*+U (0,82), no solo PV (apêndice 11). No solo LR, nas quantidades de NH_4 derivado da U^* isoladamente e nas obtidas no tratamento V^*+U , para níveis equidistantes de tempo, foi significativa a regressão quadrática ($r = 0,91$ e $r = 0,93$, respectivamente). Também, neste solo, foi significativa a regressão linear, para os demais tratamentos com uréia marcada (apêndice 12).

4.4 N-NO_3^- nos solos PV e LR derivado da uréia- ^{15}N e da vinhaça- ^{15}N (N-NO_3^- sdff)

No geral, as quantidades do N-NO_3^- derivado da uréia e da vinhaça diferiram entre si em ambos solos (tabela 8 e 9). As maiores quantidades foram observadas no tratamento com uréia aplicada isoladamente, em todos os tempos de incubação, que diferiu significativamente de todos os demais. Esses resultados são consequências dos maiores valores de N-NH_4^+ (tabelas 6 e 7) e resultaram em taxa mais elevada de nitrificação nos dois solos.

Os valores mais elevados encontrados foram $61,62 \text{ mg kg}^{-1}$ (no solo PV) e $13,42 \text{ mg kg}^{-1}$ (no solo LR) no tratamento U^* que revelou-se diferente

Tabela 8 - N-NO_3^- derivado das fontes marcadas ($\text{N-NO}_3^- \text{sdff} - \text{mg kg}^{-1}$) no solo PV aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação.

Tratamentos	Tempo (dias)					
	Início ⁽¹⁾	7	14	21	28	35
	N-NO ₃ ⁻ sdff ⁽²⁾					
		mg kg ⁻¹				
U*	220	6,55 a	12,61 a	36,74 a	39,84 a	61,62 a
U*+V	220	0,60 cd	3,60 b	3,50 c	6,86 bc	14,86 b
U*+P	220	2,93 b	3,29 b	10,22 b	12,58 b	10,76 b
U*+V+P	220	0,67 c	0,53 cd	0,42 d	0,51 d	0,64 c
V*	100	0,19 cd	0,15 d	0,06 d	0,12 d	0,08 c
V*+U	100	0,64 cd	1,64 c	1,23 d	1,85 cd	6,40 bc
V*+P	100	0,04 d	0,12 d	0,02 d	0,06 d	0,03 c
V*+U+P	100	0,47 cd	0,20 cd	0,37 d	0,45 d	0,22 c
Média		1,51	2,74	6,57	7,78	11,83
cv (%)		14,40	16,42	10,79	28,35	28,82
dms-Tukey 5%		0,62	1,27	2,00	6,24	9,64

⁽¹⁾ Quantidade de N adicionada ao solo de cada material marcado, no início do experimento (tempo 0).

⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra dentro de cada coluna para os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Turkey ao nível de 5%.

Tabela 9 - N-NO_3^- derivado das fontes marcadas ($\text{N-NO}_3^- \text{sdff} - \text{mg kg}^{-1}$) no solo LR aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação.

Tratamentos	Início ⁽¹⁾	Tempo (dias)				
		7	14	21	28	35
		N-NO ₃ ⁻ sdf ⁽²⁾				
		mg kg ⁻¹				
U*	220	6,01 a	8,86 a	9,20 a	13,30 b	13,42 a
U*+V	220	2,51 bc	5,29 b	5,62 b	7,94 c	7,35 bc
U*+P	220	3,73 b	4,75 b	8,07 a	18,80 a	9,43 ab
U*+P+V	220	1,47 cd	1,32 c	3,13 c	3,28 d	2,11 d
V*	100	0,21 de	0,51 cde	0,89 cde	0,90 fg	2,73 cd
V*+U	100	0,43 de	1,12 cd	2,82 cd	2,60 de	3,58 cd
V*+P	100	0,08 e	0,03 e	0,04 e	0,12 g	0,04 d
V*+P+U	100	0,27 de	0,27 de	0,60 de	1,43 ef	2,51 cd
Média		1,83	2,77	3,8	6,04	5,15
cv (%)		24,24	13,4	22,06	6,97	34,65
dms-Tukey 5%		1,26	1,05	2,37	1,19	5,05

⁽¹⁾ Quantidade de N adicionada ao solo de cada material marcado, no início do experimento (tempo 0).

⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra dentro de cada coluna para os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Turkey ao nível de 5%.

dos tratamentos com aplicação conjunta de uréia com palha e/ou vinhaça. Entretanto nos tratamentos com V* no solo PV, em geral, não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos com aplicação conjunta de vinhaça marcada; já no solo LR, até os 21 dias de incubação, apenas o tratamento V*+U diferiu dos demais.

As quantidades do N-NO_3^- , no tratamento U*, aumentaram com o tempo, mostrando-se bastante acentuada, no solo PV, em relação às obtidas nos demais; nos tratamentos U*+V e U*+P, ao longo do tempo, mostraram comportamento diferente com crescimento lento e gradual. No solo LR, as quantidades do N-NO_3^- derivado da uréia se mostraram significativamente diferentes entre si, nos distintos tratamentos, com crescimento gradual com o tempo.

O comportamento diferenciado dos solos, pode ser atribuído a uma melhor aeração no solo PV o que permitiu a atividade dos microrganismos nitrificadores. A adição de palha ou vinhaça e/ou ambos induziu a uma maior imobilização de N e conseqüentemente menor nitrificação, ou perdas por nitrificação-desnitrificação. Esses resultados também podem refletir nas variações dos valores do pH dos solos, já que a nitrificação é praticamente nula em valores de pH menores que 5 (Alexander, 1977; Lima Jr., 1982). No solo PV o pH manteve-se ao redor de 6,0 até os 28 dias, o que não ocorreu no solo LR (tabela 10 e 11). Os resultados obtidos, de modo geral, concordam com informações semelhantes da literatura (Amaral Sobrinho *et al.*, 1987; Carnaúba *et al.*, 1989; Colaço, 1988; Ferreira, 1980; Nunes *et al.*, 1981 e Vietes & Brinholi, 1990).

Tabela 10 - pH (CaCl₂ 0,01M) do solo PV com o tempo.

Trat\Dias	0	1	2	3	4	5	6	7	9	11	14	16	18	21	23	25	28	30	32	35
T	4,5*	4,3	4,4	4,3	4,1	4,2	4,2	4,2	4,3	4,1	4,3	4,2	4,2	4,3	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,6
V	3,9	4,1	4,2	4,7	5,0	5,4	5,7	5,6	5,9	5,6	5,5	5,7	5,6	5,5	5,4	5,8	5,3	5,8	5,5	5,8
U	4,5	4,9	6,7	6,3	6,7	6,3	6,2	5,9	5,4	5,4	5,0	4,5	4,1	4,6	4,5	4,0	4,0	4,0	3,9	4,2
V+U	3,8	4,0	4,6	6,5	6,4	6,3	6,3	6,3	6,6	6,6	6,3	6,6	6,5	6,4	6,1	5,9	5,9	5,9	5,7	5,5
V+P	3,9	4,1	4,3	4,8	5,2	5,5	5,4	5,6	5,7	5,7	5,8	5,7	5,6	5,5	5,4	5,3	5,3	5,7	5,8	5,6
P+U	4,5	5,3	6,5	6,3	5,9	5,5	5,4	5,6	5,1	4,8	4,7	5,0	4,1	4,9	4,2	4,2	4,3	4,4	4,3	4,4
P+V+U	3,9	4,1	5,1	6,2	6,1	6,1	5,9	5,9	5,7	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,4	5,6	5,7	5,6	5,5	5,7

* - Valores em negrito correspondem aos resultados do pH obtidos nos dias de coletas para análise de nitrogênio.

Tabela 11- pH (CaCl₂ 0,01M) do solo LR com o tempo.

Trat\Dias	0	1	2	3	4	5	6	7	9	11	14	16	18	21	23	25	28	30	32	35
T	5,4	4,8	5,2	5,1	4,9	4,9	5,0	4,9	5,5	5,2	4,7	4,8	5,2	4,7	4,7	4,8	4,8	4,9	4,9	5,4
V	4,9	4,6	5,3	5,4	5,2	5,6	5,7	5,9	5,9	5,8	5,3	5,8	6,6	5,3	5,3	5,3	5,2	5,2	5,2	5,6
U	5,8	5,3	5,6	5,6	5,5	5,9	5,4	5,7	5,8	5,7	5,6	5,6	5,6	5,3	5,1	5,4	4,9	4,8	4,8	4,8
V+U	5,2	5,2	5,9	5,9	5,7	5,9	6,0	6,1	6,7	6,1	5,6	5,8	6,4	5,6	5,6	5,9	5,4	5,2	5,5	5,3
V+P	5,1	5,1	5,7	6,0	5,5	5,9	6,1	6,2	6,6	6,1	6,2	6,1	6,6	5,6	5,5	6,0	5,5	5,4	5,6	5,5
P+U	5,6	5,1	6,0	6,1	5,8	5,8	5,7	5,8	6,3	6,0	6,0	6,1	5,8	5,4	5,3	5,7	5,0	5,0	5,2	5,2
P+V+U	4,9	5,0	6,1	6,3	5,9	5,9	6,2	6,1	6,6	6,3	6,0	5,9	6,7	5,7	5,6	5,8	5,5	5,3	5,6	5,5

* - Valores em negrito correspondem aos resultados do pH obtidos nos dias de coletas para análise de nitrogênio.

No geral, os tratamentos com vinhaça marcada revelaram valores de N-NO_3^- muito menores que aqueles dos tratamentos com uréia- ^{15}N . O tratamento V^*+U revelou as maiores quantidades de N-NO_3^- com tendência de aumento ao longo do tempo em ambos os solos (6,40 e 3,58 mg kg^{-1} para o solo PV e LR, respectivamente), em relação ao tratamento com vinhaça isoladamente. Estes resultados podem ser devido às marcantes alterações nas propriedades físico-químicas e biológicas provocadas pela adição da vinhaça ao solo, principalmente na relação C/N, que induzem, num primeiro momento, a imobilização de N devido ao incremento na microbiota do solo e, num segundo momento, uma transformação a N-NO_3^- , lenta e gradual, até os vinte e oito dias, mais acentuadamente aos 35 dias. Neste tratamento a presença da uréia ampliou a nitrificação, provavelmente devido à redução na relação C/N. Os demais tratamentos se mantiveram na mesma faixa, no solo PV. No entanto no solo LR, os tratamentos V^* e $\text{V}^*+\text{P}+\text{U}$ cresceram ao longo do tempo, sendo isto provavelmente, um reflexo da natureza do solo argiloso. Neste, grande parte do N-amônio produzido foi nitrificada; parte desta foi perdida por volatilização, mas em intensidades menores que no solo PV.

A análise de variância do N-NO_3^- em função do tempo mostrou efeito significativo para a regressão linear para U^* , U^*+V e U^*+P em ambos os solos. O tratamento com V^*+U ($r = 0,81$) do solo PV e os tratamentos com V^* , V^*+U e $\text{V}^*+\text{P}+\text{U}$ do solo LR, também foram significativa a regressão linear (apêndice 11 e 12).

4.5 Taxa de transformação líquida do N mineral derivado da uréia- ^{15}N e da vinhaça- ^{15}N ($T_{\text{transliqNsdff}}$)

As taxas médias de transformação líquida do N mineral foram positivas na primeira semana (7 dias) de incubação, para os dois solos, independentemente dos tratamentos (tabelas 12 e 13). Vale observar que as taxas de transformação, para a primeira semana de incubação, foram calculadas considerando como 0 (zero) as quantidades do N-mineral derivado das fontes marcadas (^{15}N) adicionadas ao solo no início do experimento, ou seja, no tempo inicial (t_0), relativo a este período de incubação. A partir do 14.º dia, de modo geral, os valores passaram a ser predominantemente negativos, principalmente nos tratamentos com U*. Esse comportamento possivelmente reflete o rápido esgotamento das frações das fontes marcadas, adicionadas isoladamente ou em conjunto ao solo, facilmente decomponíveis ou mineralizáveis. Os resultados obtidos, entretanto, revelaram em alguns casos, aumentos nas taxas de transformação do N-mineral derivado das fontes marcadas. Essas variações indicam diferenças na produção e nas transformações do N, em resposta aos tratamentos empregados, refletindo, provavelmente, influências decorrentes das características e propriedades dos solos. Tais variações sugerem, ainda, considerando os diferentes valores obtidos em cada um dos tempos de incubação, que os processos de mineralização (valores positivos, ou aumentos no decorrer do tempo) e de imobilização (valores negativos ou decréscimos no decorrer do tempo) estão ocorrendo simultaneamente.

Tabela 12 - Taxa de transformação líquida do N-mineral derivado das fontes marcadas (TtransliqNsdff - $\text{mg kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$) no solo PV aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação.

Tratamentos	Início ⁽¹⁾	Tempo (dias)				
		7	14	21	28	
TtransliqNsdff ⁽²⁾						
	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹ dia ⁻¹				
U*	220	22,34 a	-3,24 b	-1,75 ab	-3,11 b	1,56 a
U*+V	220	9,32 b	0,90 a	-3,04 b	0,67 a	-0,90 b
U*+P	220	8,55 b	-3,40 b	-1,75 ab	-0,35 a	-0,68 b
U*+V+P	220	1,02 d	0,02 a	-0,82 ab	-0,08 a	-0,03 ab
V*	100	0,07 d	0,03 a	-0,08 a	0,13 a	-0,04 ab
V*+U	100	3,47 c	0,72 a	-0,84 ab	-0,10 a	-0,52 b
V*+P	100	0,04 d	0,06 a	-0,07 a	0,39 a	-0,39 b
V*+U+P	100	0,85 d	-0,44 ab	-0,01 a	-0,26 a	-0,09 b
Média		5,71	-0,67	-1,04	-0,34	-0,13
cv (%)		6,87	-158,00	-86,80	-149,72	-412,38
dms-Tukey 5%		1,11	2,99	2,55	1,43	1,61

⁽¹⁾ Quantidade de N adicionada ao solo de cada material marcado, no início do experimento (tempo 0).

⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra dentro de cada coluna para os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Turkey ao nível de 5%.

Tabela 13 -Taxa de transformação líquida de N-mineral derivado das fontes marcadas (TtransliqNsdff - mg kg⁻¹ dia⁻¹) no solo LR aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação.

Tratamentos	Início ⁽¹⁾	Tempo (dias)				
		7	14	21	28	35
TtransliqNsdff ⁽²⁾						
	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹ dia ⁻¹				
U*	220	13,46 a	5,31 a	-0,01 a	-1,49 c	-1,42 b
U*+V	220	7,84 c	1,74 b	-0,26 a	-1,47 c	-2,40 c
U*+P	220	9,60 b	-2,96 d	-4,19 b	0,70 a	-1,74 bc
U*+P+V	220	1,42 de	-0,55 c	-0,26 a	0,01 b	-0,21 a
V*	100	0,27 ef	-0,04 bc	-0,01 a	0,03 ab	0,27 a
V*+U	100	1,78 d	1,22 bc	0,35 a	-0,38 b	-0,15 a
V*+P	100	0,03 f	-0,01 bc	0,03 a	0,01 b	-0,01 a
V*+P+U	100	0,12 f	-0,05 bc	0,12 a	0,14 ab	0,17 a
Média		4,32	0,58	-0,53	-0,31	-0,69
cv (%)		10,23	108,99	-65,56	-79,52	-49,74
dms-Tukey 5%		1,25	1,80	0,98	0,69	0,97

⁽¹⁾ Quantidade de N adicionada ao solo de cada material marcado, no início do experimento (tempo 0).

⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra dentro de cada coluna para os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Turkey ao nível de 5%.

Contudo, na maior parte dos casos, os valores obtidos para os dois solos, nos distintos tratamentos, dos 14 aos 35 dias, sugerem uma predominância da imobilização. Esta predominância, entretanto, varia um pouco nos dois solos, para um mesmo tratamento, e parece mais efetiva no solo PV.

Alexander (1977) esclareceu que, quando a mineralização ocorre, a imobilização ocorre em oposição a ela; assim, a determinação da quantidade de nitrogênio inorgânico produzida ou perdida durante a incubação não mede um ou outro processo mas, mais propriamente a liberação ou retenção deste elemento. O resultado bruto é grandemente subestimado. Esse autor informou, também, que a mineralização e a imobilização tomam lugar independentemente da porcentagem de nitrogênio na matéria orgânica. A fim de estimar a taxa de uma das duas transformações, traçadores isotópicos são utilizados. Ainda, conforme Alexander (1977), quando o ^{15}N -amônio é aplicado ao solo, o ^{15}N do traçador se move para o reservatório orgânico com imobilização, enquanto na mineralização, o ^{14}N não traçador da fração orgânica dilui o ^{15}N no reservatório inorgânico. Segundo o autor, tais experimentos mostram que ambas as transformações estão procedendo indiferente as condições ambientais. Se a taxa de imobilização exceder a taxa de mineralização o nitrogênio inorgânico não se acumulará e qualquer inicialmente presente desaparecerá. Quando a imobilização é menor que a mineralização, o N acumulará e se tornará mais disponível para a planta. Como o N geralmente está disponível para plantas crescendo em ecossistemas naturais, a mineralização normalmente excede a imobilização.

Deve-se ainda considerar que a produção do N mineral, além do processo de imobilização, pode ser influenciada pelos processos de volatilização, nitrificação-desnitrificação e lixiviação, os quais refletem a disponibilidade e governam a quantidade do N mineral presente no solo em determinado instante, influenciando o estado deste elemento no solo (Colaço, 1988; Silva, 1988). Dessa maneira, embora a produção de N mineral possa ser grande, a taxa calculada pode ser nula, ou até mesmo negativa (Alexander, 1977; Victória *et al.*, 1992). Percebe-se, então, que as maiores dificuldades encontradas para os estudos das transformações de N nos solos são de natureza metodológica, que podem pelo menos em parte, ser contornadas pelo uso de compostos marcados com ^{15}N (Victória *et al.*, 1992). Assim, é possível que as variações (ou flutuações) observadas, nas taxas de mineralização traduzam também o efeito dessas vias de perdas gasosas do N derivado das fontes marcadas adicionadas ao solo, uma vez que a lixiviação não se expressa como contribuição importante nas condições experimentais empregadas no presente trabalho.

Os tratamentos com uréia marcada (U^*) apresentaram, inicialmente, taxas médias de transformação líquida do N-mineral significativamente maiores que as obtidas nos tratamentos com vinhaça- ^{15}N , em ambos os solos. As taxas de transformação líquida do N-mineral derivado da uréia, no geral, variaram significativamente entre alguns dos tratamentos, nos dois solos, entretanto, nos tratamentos com vinhaça marcada, em quase sua totalidade, não foram detectadas diferenças significativas nas taxas de

transformação, em ambos os solos, nos diferentes tempos de incubação (tabela 12 e 13).

Considerando as taxas médias de transformação do N-mineral derivado da uréia e da vinhaça, foi observado, para os distintos tratamentos, que a mineralização prevaleceu apenas nos 7 dias iniciais, embora esta mineralização e/ou a imobilização tenham ocorrido com certa alternância em grande parte desses tratamentos, a partir do 14^o dia de incubação, em ambos os solos. Os resultados obtidos mostram, portanto, que apesar de ter ocorrido diferenças entre tratamentos, elas foram pequenas e limitadas a algumas épocas. Vale observar, para o tratamento V*+U+P, que a mineralização prevaleceu, no solo LR, a partir dos 21 dias de incubação, no entanto, no solo PV, predominou a imobilização, a partir dos 14 dias de incubação. Por outro lado, o tratamento V*+P revelou que a adição conjunta dessas duas fontes de material orgânico (vinhaça e palha), aos solos, exerce uma redução ainda maior nas taxas de transformação líquida, promovendo intensa imobilização do N, ao longo do período avaliado, ao se observar cada tempo de incubação, possivelmente porque os seus efeitos se somam alterando ainda mais a relação C/N. Estas observações assemelham-se a informações apresentadas por Sampaio & Salcedo, (1993), e estão de acordo com resultados obtidos por Winsor & Pollard, (1956)⁶ citados por Almeida *et al.* (1982).

Os resultados, de modo geral, refletem a sensibilidade deste índice devido a sua dependência às variações dos diferentes fatores que influenciam

⁶ WINSOR, G. N. & A. G. POLLARD. Carbon-Nitrogen relationship in soil. I. The immobilization of nitrogen in the presence of carbon compounds. J.Sci. Food. Agric., v. 7, p. 134-141, 1956.

a dinâmica dos microrganismos no solo e, conseqüentemente a intensidade de mineralização, principalmente quando se adiciona ao solo as fontes de nitrogênio (vinhaça, uréia e palha) que afetam diretamente essa dinâmica.

Por outro lado, os resultados concordam com informações semelhantes de Lima Jr. (1982), de que as taxas de mineralização assumem seus maiores valores no início da decomposição devido à presença de compostos orgânicos de fácil decomposição e com alto “status” energético. Altas taxas de mineralização de N nos períodos iniciais seguidas de uma diminuição gradativa têm sido também informadas por outros autores (Kinjo *et al.*, 1978; Lemos, 1986; Minhoni & Cerri, 1987. Stanford & Smith (1972) observaram que a maior taxa de produção de N ocorreu ao final da primeira semana, fato atribuído às perturbações provocadas no solo por ocasião da coleta, estocagem e peneiramento.

Sampaio (1991) estudando a mineralização da matéria orgânica do solo, verificou que este processo começa muito rápido e vai declinando com o tempo, com o N mineral acumulado nas primeiras semanas de incubação correspondendo a uma grande parte do N potencialmente mineralizável. O autor atribuiu este fluxo inicial à mineralização da parte da biomassa do solo, morta durante o manuseio do solo. Conforme Pottker & Tedesco (1979), após as três semanas iniciais ocorre redução das quantidades de compostos orgânicos de fácil decomposição, restando os resíduos orgânicos de alta estabilidade, provocando uma diminuição nas taxas de mineralização. Essas inferências, também mostram concordância com as tendências observadas no

presente experimento, que informam diminuição das taxas de mineralização com o decorrer do tempo de incubação.

A intensidade da mineralização, a disponibilidade do N, bem como a quantidade do N mineralizado no solo em determinado momento, dependem de vários fatores como: classe de solo, relação C/N, quantidade e natureza da matéria orgânica, conteúdo de N-total, temperatura, disponibilidade de água, pressão de oxigênio, pH do solo (Alexander, 1977; Black, 1968; Stanford & Smith, 1972). Além disso, um outro aspecto que deve ser abordado é o tempo necessário para que ocorra o decréscimo da relação C/N até níveis onde passe a predominar a mineralização que depende de vários fatores, dentre os quais destacam-se a taxa de adição de resíduos, temperatura e nível de atividade microbiana do solo. Uma estimativa razoável se situa em torno de 4 a 8 semanas após a adição de material orgânico ao solo (Victoria *et al.*, 1992). Pelos resultados obtidos no presente experimento, obviamente ressalvadas diferenças nas características e propriedades dos solos, e considerando o tempo avaliado de 35 dias de incubação, o predomínio da mineralização não parece ainda definitivamente estabelecido.

A análise de variância mostrou efeito significativo das taxas de mineralização líquida, para níveis eqüidistantes de tempo, sendo significativa a regressão linear para todos tratamentos com U* em ambos os solos, com exceção do tratamento U*+V+P no solo PV que foi significativa a regressão quadrática e, linear para o tratamento V*+U nos solos PV e LR (apêndice 11 e 12).

4.6 Perdas gasosas do nitrogênio derivado da uréia e da vinhaça marcadas com ^{15}N aplicadas aos solos PV e LR (Nvtsdff)

As perdas gasosas do N derivado da uréia e da vinhaça, determinadas pelo método indireto do balanço isotópico de ^{15}N , estão informadas nas tabelas 14 e 15. Tais perdas serão referidas, de forma generalizada, a partir daqui, como perdas por volatilização (considerando esta como a via de ocorrência das perdas gasosas, as quais foram determinadas por diferença, não sendo distinguidas, portanto, quanto aos possíveis processos-causas, em particular, nitrificação-desnitrificação e/ou volatilização de amônia).

De modo geral, as quantidades do N volatilizado total (Nvtsdff) foram significativamente mais elevadas nos tratamentos com uréia- ^{15}N do que naqueles com vinhaça marcada, em ambos os solos e em todos os tempos. No solo LR, as quantidades do N volatilizado da uréia encontrado no tratamento com aplicação isolada (U*) mostraram-se significativamente diferentes das determinadas nos tratamentos incluindo as associações com vinhaça e palha aos 7 e 14 dias. No solo PV, entretanto, foram detectadas diferenças significativas, entre os tratamentos, apenas aos 7 dias de incubação. As perdas foram, aos sete dias, foram mais elevadas no solo PV que no LR, e respectivamente de $80,67\text{mg kg}^{-1}$ e $45,60\text{mg kg}^{-1}$, correspondendo a 37% e 21% do N-uréia aplicado. Resultados semelhantes foram informados por Lara Cabezas *et al.* (1994). Os resultados obtidos de modo geral, concordam com informações da literatura de que em solos de textura arenosa, com média a baixa CTC, a volatilização de amônia da uréia revela-se mais significativa (Buresh, 1987). Martins & Bremner (1989) encontraram

Tabala 14 - N volatilizado total derivado das fontes marcadas (Nvtsdff - mg kg⁻¹) no solo PV aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação.

Tratamentos	Tempo (dias)					
	Início ⁽¹⁾	7	14	21	28	35
	Nvtsdff ⁽²⁾					
		mg kg ⁻¹				
U*	220	80,67 a	68,00 a	61,67 a	49,00 ab	57,33 ab
U*+V	220	64,00 ab	69,67 a	69,33 a	58,33 a	64,33 a
U*+P	220	35,67 cd	53,67 a	55,33 a	54,00 ab	62,33 a
U*+V+P	220	41,00 bc	53,33 a	68,33 a	59,33 a	32,00 abc
V*	100	1,00 e	6,33 b	7,87 b	17,53 b	14,60 c
V*+U	100	14,27 ed	17,97 b	17,97 b	25,17 ab	28,27 bc
V*+P	100	6,90 e	9,63 b	14,20 b	22,93 ab	10,77 c
V*+U+P	100	1,00 e	16,67 b	18,47 b	17,23 a	20,57 c
Média		30,57	36,90	39,15	37,94	36,28
cv (%)		27,89	21,18	17,92	35,99	32,97
dms-Tukey 5%		22,45	22,11	19,84	38,63	33,83

⁽¹⁾ Quantidade de N adicionada ao solo de cada material marcado, no início do experimento (tempo 0).

⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra dentro de cada coluna para os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Turkey ao nível de 5%.

Tabela 15 - N volatilizado total derivado das fontes marcadas (Nvtsdff - mg kg⁻¹) no solo LR aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação.

Tratamentos	Início ⁽¹⁾	Tempo (dias)				
		7	14	21	28	35
		Nvtsdff ⁽²⁾				
		mg kg ⁻¹				
U*	220	45,60 a	52,67 a	37,30 a	39,67 a	41,00 ab
U*+V	220	26,30 b	25,30 b	27,00 ab	29,70 ab	45,00 a
U*+P	220	31,50 b	55,67 a	44,30 a	21,30 bc	48,00 a
U*+P+V	220	30,50 b	17,30 b	14,00 bc	30,67 ab	25,67 bc
V*	100	4,00 c	13,00 b	8,70 bc	7,00 d	4,50 d
V*+U	100	2,30 a	3,60 b	3,30 c	10,30 cd	16,00 cd
V*+P	100	9,30 a	13,00 b	3,70 c	10,00 cd	7,50 d
V*+P+U	100	3,30 a	4,90 b	1,00 c	1,00 d	8,00 cd
Média		19,39	23,19	18,13	18,70	24,46
cv (%)		29,30	36,62	39,76	23,95	26,13
dms-Tukey 5%		11,14	24,02	20,40	12,68	18,08

⁽¹⁾ Quantidade de N adicionada ao solo de cada material marcado, no início do experimento (tempo 0).

⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra dentro de cada coluna para os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Turkey ao nível de 5%.

correlações diretas e significativas entre a amônia volatilizada da uréia e o teor de areia e, de caráter inverso, em relação ao teor de silte e argila em diferentes solos. É possível que a vinhaça possa favorecer indiretamente o aumento dessas perdas, por possibilitar uma hidrólise mais ativa da uréia, pela maior retenção de umidade no solo (Rosenfeld et al, 1981⁷, citado por Orlando Filho *et al*, 1983).

O tratamento com aplicação da uréia isoladamente (U*) no solo PV apresentou uma tendência de diminuição do N volatilizado, ao longo do tempo, no solo PV. Este comportamento não pode ser explicado a não ser como erro metodológico ou absorção de NH₃ volatilizado de outros tratamentos. O tratamento U*+P apresentou, porém, uma tendência de crescimento das perdas com o tempo, sugerindo que a adição da palha favoreceu a volatilização do N da uréia ao longo do tempo provavelmente refletindo os efeitos desta na atividade microbiana do solo, ou mesmo, devido a um incremento na atividade da urease no solo, caso as perdas tenham sido por volatilização de amônia.

Observa-se que, com a adição de palha e/ou vinhaça nos tratamentos com uréia marcada, as perdas por volatilização foram menores do que as determinadas no tratamento com uréia, aplicada isoladamente. É possível que em a presença da palha, o N que seria volatilizado, tenha sido imobilizado, incorporando-se à massa microbiana do solo, devido à elevação na relação C:N deste. Deve ser enfatizado que esses resultados podem ser apli-

⁷ ROSENFELD, U.; BAPTISTELA, J.R.; LEME, E. J. A. Aplicação de vinhaça pôr aspersão em Latossol Roxo. In: CONGRESSO NACIONAL DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL, 2, Rio de Janeiro, 1981. *Anais*. Rio de Janeiro, STA., 1981, p.235-48.

cados quando a palha é incorporada ao solo, no campo. Se ela for deixada na superfície e a uréia aplicada sobre ela, a volatilização poderá ser expressiva. (Freney *et al.*, 1992).

As quantidades do N volatilizado total derivado da vinhaça (V^*), nos solos PV e LR não mostraram-se diferentes entre os distintos tratamentos, embora desde o início o tratamento V^*+U tenha apresentado valores mais elevados de perdas por volatilização no solo PV. Resultados semelhantes foram encontrados por Lara Cabezas *et al.* (1994). Na maior parte dos casos, as perdas aumentaram com o decorrer do tempo de incubação.

As características e propriedades dos solos PV e LR, aliadas aos efeitos conhecidos da aplicação da vinhaça, podem contribuir para explicar os resultados obtidos. Ferreira (1980), mostrou diferentes comportamentos dos solos, que é dependente da textura dos mesmos. A melhoria nas condições químicas do solo aliada a vinhaça com compostos voláteis de fácil decomposição (Lara Cabezas, 1991), favorecendo a hidrólise da uréia, pela maior retenção de água no solo, mostra que a vinhaça contribui para elevação da taxa de volatilização do N. Em solo de textura arenosa e baixa CTC, a volatilização do N é mais efetiva (Chao & Kroontje, 1964; Gasser, 1964; Anjos & Tedesco, 1976; Buresh, 1987; Lara Cabezas, 1991).

Os efeitos da aplicação da vinhaça sobre o pH do solo são bem conhecidos. No presente trabalho foram observadas variações no pH da ordem de 1,7 unidades no solo PV, sendo superiores às no solo LR (tabela 10 e 11). Estes resultados concordam com Ferreira, 1980, evidenciando comportamentos diferentes, dependentes da textura dos solos. No início o

pH foi de 3,9 e oscilou durante o resto do período de incubação em 5,6 que se manteve aos 35 dias, enquanto a testemunha ficou em pH 4,5. Este comportamento do pH é explicado pela oxidação da matéria orgânica, elevando o pH do solo, provocada pela população microbiana que, atacando a matéria orgânica e decompondo-a parcialmente, diminui a acidez do solo. Este resultados concordam com Mattiazzo & Glória (1985), e Almeida (1953).

Para o solo LR no início o pH foi de 4,9, no decorrer do período de incubação chegou a atingir valores de 6,6 e ficou em 5,6 aos 35 dias; o pH do testemunha se manteve em torno de 5,4 durante o período experimental . No solo PV o pH se manteve mais alto que o da testemunha no final do experimento enquanto no solo LR o pH final mostrou tendência de aproximar-se ao da testemunha. Estes resultados concordam com observações semelhantes de Rodella *et al.* (1983) e Lima (1980). A melhoria nas condições químicas do solo aliada à oferta de material orgânico com compostos voláteis de fácil decomposição mostra que a vinhaça contribui para elevação da volatilização de N, (Lara Cabezas, 1991). Sengik & Kiehl (1995), estudando o efeito de resíduos orgânicos adicionados a solo tratado com uréia, encontraram que a vinhaça aumentou em 105% as perdas médias de amônia, quando comparadas ao solo testemunha.

A redução lenta e gradual do tratamento V*+P+U em relação ao tratamento U*+P+V aponta para uma exaustão mais rápida das fontes do N derivado da uréia, provavelmente devido a esta manter uma taxa de

volatilização mais alta no decorrer do tempo. Estas observações concordam com os resultados encontrados por Lara Cabezas (1991).

A análises de variância das quantidades do N volatilizado da uréia e da vinhaça marcadas, para níveis eqüidistantes de tempo, mostrou que houve efeito significativo, sendo a regressão linear significativa para os tratamentos U*, U*+P, V*, V*+U+P no solo PV e, para os tratamentos U*+V e V*+U, no solo LR. Foram significativas a regressão quadrática para o tratamento U*+V+P em ambos os solos, e regressão cúbica para U*+P no solo LR.(apêndices 11 e 12).

5 CONCLUSÕES

- O N total no solo derivado da uréia- ^{15}N foi menor que o adicionado, sugerindo ocorrer perda gasosa; grande parte do N total derivado da vinhaça- ^{15}N foi imobilizado na biomassa microbiana.

- A adição palha e/ou vinhaça promoveu a redução do N mineral nos solos, independente da origem (N-uréia ou N-vinhaça). A complementação da vinhaça com uréia intensifica o processo de mineralização do N da vinhaça, comparativamente a condição de vinhaça aplicada isoladamente.

- A aplicação da vinhaça e palha juntamente com a uréia reduziu a disponibilidade de N-NH_4^+ derivado da uréia. A adição conjunta de uréia e vinhaça favoreceu a disponibilidade do N-vinhaça na forma N-NH_4^+ . A adição de palha e uréia promoveu a redução da concentração do N-NH_4^+ proveniente da vinhaça.

- A uréia aplicada isoladamente favoreceu a nitrificação em relação aos demais tratamentos nos dois solos (PV e LR). A adição conjunta de uréia e vinhaça promoveu aumentos nas concentrações do N-NO_3^- proveniente da vinhaça nos dois solos, ao longo do tempo. A adição de palha, uréia e vinhaça induziram a menor nitrificação no solo PV em relação aos demais

tratamentos; no LR favoreceu nitrificação lenta do N proveniente da vinhaça ao longo do tempo.

-As taxas de transformação líquida do N-mineral dos solos foram em geral negativas em todos os tratamentos nos dois solos, o que indica a predominância da imobilização.

- As perdas gasosas do N da vinhaça foram crescentes no decorrer do tempo, para todos os tratamentos no solo PV, e no solo LR ocorrera somente no início do período de incubação. A adição de uréia, palha e vinhaça aos solos acarretou maiores perdas gasosas do N uréia em relação as perdas de N-vinhaça sendo este efeito mais pronunciado no solo PV. Estas perdas podem ter ocorrido por volatilização de amônia e por nitrificação/desnitrificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLISON, F. E. Soil organic matter formation. In: Soil organic mater and its role in crop production. New York: Elsevier, 1973. cap. 6, p. 97-119.

ALMEIDA, F. P. **Interferência dos fungos na adubação do solo pela vinhaça.** Piracicaba: Instituto Zimotécnico - ESALQ, 1953. 11 p.

ALMEIDA, J. R. de. **O problema da vinhaça em São Paulo.** Piracicaba: Instituto Zimotécnico - ESALQ, 1952. 9 p. (Boletim, 3).

ALMEIDA, M. T.; VICTORIA, R. L.; CERRI, C. C. Destino do nitrogênio aplicado ($^{15}\text{NH}_4$) $_2\text{SO}_4$ como complementação a vinhaça em um solo ácido de Piracicaba, São Paulo. In: COLOQUIO REGIONAL SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO, Piracicaba, 1982. **Anais.** Piracicaba: CENA/USP, 1982. p. 193-196.

ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. New York: John Wiley & Sons, 1977. 467p.

ALVES, G. D. Mineralização de nitrogênio e carbono em vinte solos de Pernambuco e absorção de nitrogênio pelo sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench.). Recife, 1989. 90p. Dissertação (Mestrado) -Universidade Federal Rural de Pernambuco.

AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; VELLOSO, A. C. X.; LEAL, J. R.; ROSIELLO, R. O. P. Desnitrificação e imobilização de nitrogênio em solo tratado com vinhaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p. 263-268, 1983.

AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; LUISI, M. V. V.; ROSIELLO, R. O. P.; VELLOSO, A. C. X.; LEAL, J. R. Transformações do nitrogênio mineral em solo podzólico vermelho-amarelo tratado com vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.22, n. 3, p. 249-256, 1987.

ANJOS, J. T.; TEDESCO, M. J. Volatilização de amônia proveniente de dois fertilizantes aplicados em solos cultivados. **Científica**, v. 4, n. 1, p. 49-55, 1976.

AYANABA, A.; KANG, B. T. Urea transformation in some, tropical soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, p. 313-316, 1976.

BARTHOLOMEW, W. V.; CLARK, F. E. **Soil Nitrogen**. Madison: **American Society of Agronomy**, 1965. 615p.

BAUWER, H.; CHANCY, R. L. Land treatment of waste water. **Advances in Agronomy**, v. 26, p. 133-176, 1974.

BENDASSOLLI, J. A.; MORTATTI, J.; TRIVELIN, P. C. O.; VICTÓRIA, R. L. Síntese de fertilizantes nitrogenados enriquecidos em ^{15}N . Parte I. Produção de amônia anidra enriquecida em ^{15}N . **Energia Nuclear e Agricultura**, v. 9, n. 2, p. 66-93, 1988a.

BENDASSOLLI, J. A.; TRIVELIN, P. C. O.; MORTATTI, J.; VICTÓRIA, R. L et al. Síntese de fertilizantes nitrogenados enriquecidos com ^{15}N . Parte II. Síntese de uréia enriquecida com ^{15}N . **Energia Nuclear e Agricultura**, v. 9, n. 2, p. 94 -116, 1988b.

BLACK, C. A. Soil-Plant Relationship. In: Nitrogen: Mineralization and Immobilization. 2ed New York: John Wiley, 1968. p.419-452.

BODDEY, R. M.; OLIVEIRA, O. C.; GUIMARÃES, H. D.; URQUIAGA, S. Efeito de queima e aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado no rendimento e acúmulo de nitrogênio de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 5., Águas de São Pedro, 1993. **Anais**. Águas de São Pedro: 1993. p. 82-86.

BREMNER, J. M.; MALVANEY, C. S. Nitrogen-Total. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R., (Ed.) Methods of Soil Analysis. 2 ed. Madison: ASA, 1982. cap. 31, p 595-624. (Agronomy, 9).

BURESH, R. J. Ammonia volatilization from point-placed urea in upland, sandy soils. **Fertilizer Research**, v. 12, p. 263-8, 1987.

BURESH, R. J.; AUSTIN, E. R.; CRASWELL, E.T. Analytical methods in ^{15}N research. **Fertilizer Research**, v. 3, p. 37-62, 1982.

CAMARGO, R. **O desenvolvimento da flora microbiana nos solos tratados com vinhaça**. Piracicaba: Instituto Zimotécnico - ESALQ, 1954. 44p. (Boletim, 9).

CAMARGO, O. A. de; BERTONI, R. S.; GERALDI, R. N.; VALADARES, J. M. A. S. Alterações de Características Químicas de um Latossolo Roxo Distrófilo Incubado com Resíduos da indústria álcool-açucareira. **Bragantia**, v. 43, n. 1, p.125-139. 1984.

CAMARGO, O. A. de; VALADARES, J. M. A. S.; BERTONI, R. S.; TEÓFILO, J. S.; MENK, J. R. **Alteração de características químicas de um Latossolo-Vermelho-Escuro distrófilo pela aplicação de vinhaça**. Campinas: Instituto Agrônomico, 1987. (Boletim Científico, 9).

- CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S.; GERALDI, R. N. **Características químicas e físicas de solo que recebeu vinhaça por longo tempo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 30p. (Boletim Técnico, 76).
- CARNAÚBA, B. A. A.; VICTÓRIA, R. L.; COSTA, A. C. S. da; TRIVELIN, P. C. O. Efeito da vinhaça na dinâmica do sulfato de amônio-¹⁵N aplicado a um oxisol (LV). **Energia Nuclear e Agricultura**, v. 10, n. 2, p. 71-82, 1989.
- CHAO, T. T.; KROONTJE, W. Relationships between ammonia volatilization, ammonia concentration and water evaporation. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 28, p. 393-5, 1964.
- COELHO, R. M. Influência da vinhaça, da fertilização mineral e do cultivo em características químicas da matéria orgânica e da fração mineral de um Latossolo Vermelho-Escuro. Viçosa, 1990. 84p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- COLAÇO, W. Transformações do nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera, sob condições de laboratório e casa de vegetação com ênfase à denitrificação. Piracicaba, 1988. 377p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

- CRASWELL, E. T. Some factors influencing denitrification and nitrogen immobilization in a clay soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 10, p. 241-245, 1978.
- DELGADO, A. A. Os efeitos da queima dos canaviais. **STAB-Açúcar, Alcool e Subprodutos**, v. 3, n. 6, p. 42-45, 1985.
- DEMATÊ, J. L. I. O uso agronômico de resíduos x fertilizantes na cultura da cana-de-açúcar. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, Piracicaba: Fundação Cargil, 1992. p. 213-251.
- FAUCONIER, R.; BASSEREAU, D. **La cana de azucar**. Barcelona: Blume, 1975. 433p.
- FERREIRA, W. A. Efeito da vinhaça em solos de diferentes texturas. Piracicaba, 1980. 67p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- FREITAS, S. S.; CARDOSO, C. O. N.; CAMARGO, O. A.; LOPES, E. S. Mineralização e imobilização de nitrogênio tratado com torta de filtro e carbonato de cálcio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, p. 243-248, 1988.

FRENEY, J. R.; DEEMED, O. T.; WOOD, A. W.; SAFFIGNA, P. G.; CHAPMAN, L. S.; HAM, G. J.; HURKEY, A. P.; STEWART, R. L. Factors controlling ammonia loss from trash covered sugarcane fields fertilized with urea. **Fertilizer Research**, v. 31, p. 341-349, 1992.

GASSER, J. K. R. Some factors affecting losses ammonia from urea and ammonium sulfate applied to soil. **Journal of Soil Science**, v. 15, p. 258-72, 1964.

IAA/PLANALSUCAR. Coordenadoria Regional Norte. Análise de vinhaça e material vegetal. In: Manual de Metodologia de Análise do Laboratório da Seção de Solos e Adubação. Carpina: 1983. p. 30-36.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil - I. Fumigation with chloroform. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, p. 167-177, 1976.

KEENEY, D. R.; NELSON, D. W. Nitrogen - inorganic forms. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. ed. **Methods of Soil Analysis** 2ed. Madison ASA: 1982. cap. 33, p. 643-689. (Agronomy, 9).

LADD, J. N.; OADES, J. M.; AMATO, M. Microbial biomass formed from ^{14}C , ^{15}N labelled plant material decomposing in soils in the field. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 13, p. 119-126, 1981.

LARA CABEZAS, W. A. R. Marcação de vinhaça com ^{15}N e avaliação de perdas gasosas de nitrogênio da vinhaça- ^{15}N e uréia- ^{15}N em solos cultivados com cana-de-açúcar (*Saccharum* spp). Piracicaba, 1991. 85p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; SCHIAVINATO JUNIOR, P.; BOARETTO, A. E. Perdas gasosas de nitrogênio de vinhaça e uréia em solos cultivados com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 463-469, 1994.

LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; VICTÓRIA, R. L.; CAMARGO, P. B.; PICCOLO, M. de C. Volatilização de amônia de uréia- ^{15}N e aquamônia- ^{15}N aplicados na cultura de cana-de-açúcar em condições de campo. In: CONGRESSO NACIONAL DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 4, Olinda, 1987. **Anais**. Olinda: STAB-Açúcar, Alcool e Subprodutos, 1987. p. 50-59.

LEME, E. J. A.; SCARDUA, R.; MORETTI FILHO, J. Aplicação da vinhaça através do sistema de irrigação por sulcos de infiltração em cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, v. 96, p. 47-59, 1980.

- LIMA, I. T. Efeitos da aplicação de vinhaça sobre a microflora do solo. Seropédica, 1980. 100p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- LIMA JR., M. A. Nitrogen nutrition of sugar cane in N.E. Brazil. Saskatoon, Canadá, 1982. 172p. Tese (Doutorado) - University of Saskatchewan.
- LOPES, E. S.; DIAS, R.; FREITAS, dos S. Influência dos microorganismos na nutrição dos cultivos nos tropicos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 16, Ilhéus, 1984. **Anais**. Ilhéus: CEPLAC/SBCS, 1985. p 77-93.
- LOPES, E. S.; PERON, S. C. Efeito residual da vinhaça na população autotectone de Rhizobium do solo. **Bragantia**, v. 45, n. 1, p. 29-36, 1986.
- MARTINS, D. A.; BREMNER, J. M. Soil properties affecting volatilization of ammonia from soils treated with urea. **Communication Soil Plant Analysis**, v. 20, n.15/16, p. 1645-1657, 1989.
- MATTIAZZO, M. E.; GLORIA, N. A. Efeito da vinhaça na acidez do solo. **STAB-Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 4, n. 2, p. 35-40. 1985.

MARUMOTO, T.; ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. Mineralization of nutrients from soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 14, p. 469-475, 1982.

MINHONI, M.; CERRI, C. C. Decomposição de vinhaça em solo sob diferentes níveis de umidade: liberação de CO₂, formação de biomassa e imobilização do nitrogênio adicionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 11, p. 25-30, 1987.

NEVES, N. C. P.; LIMA, I. T.; DOBEREINER, J. Efeito da vinhaça sobre a microflora do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, n. 2, p. 131-136, 1983.

NUNES, M. R.; VELLOSO, A. C. X.; LEAL, J. R. Efeito da vinhaça nos cations trocáveis e outros elementos químicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 16, n. 2, p. 171-6, 1981.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELO JUNIOR, E.; AGUIJARO, R.; ROSSETO, A. J. Efeito da aplicação prolongada da vinhaça nas propriedades químicas dos solo com cana-de-açúcar, estudo exploratório. **STAB Açúcar, Alcool e Subprodutos**, v. 1, n. 6, p. 28-33, 1983.

- PARSONS, J. M.; LADD, J. N.; AMATO, M. Mineralization and transformation of ^{15}N -labelled plant residues in soil. **Journal Science Food Agricultural**, v. 26, p. 1426-1427, 1975.
- PAUL, E. A.; VAN VEEN, J. A. The use of tracers to determine the dynamic nature of organic matter. In: INTERNATIONAL CONGRESS SOIL SCIENCE, 11., Edmonton, 1978. **Transactions**. Edmonton: International Society of Soil Science, 1978. v. 3, p. 61-102.
- PERUZZO, G. Avaliação da decomposição e liberação de nitrogênio de resteva e adubo verde. Porto Alegre, 1982. 71p Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- PICCOLO, M. C. Dinâmica do nitrogênio incorporado na forma orgânica em solos de várzea e terra firme na Amazônia Central. Piracicaba, 1989. 172p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- REZENDE, J. O. Consequências da aplicação de vinhaça sobre algumas propriedades físicas de um solo aluvial: estudo de um caso. Piracicaba,. 1979. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

RODELA, A. A.; ZAMBELLO, E.; FRANCISCO JR, J. O. Effects of vinasse added to soil on ph and exchangeable aluminum content. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 18., La Habana, 1983. **Proceedings**, La Habana: 1983. p. 189-214.

ROSSIELLO, R. O. P.; FERREIRA, W. A.; FERNANDES, M. S. Respostas de milho à salinidade do solo induzida por aplicação de vinhaça. II. Produção de carboidratos solúveis e absorção de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 3, p. 176-181, 1981.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; BETTANY, J. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. I. Eficiência na utilização de uréia-(^{15}N) em aplicação única ou parcelada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, p. 943-949, 1984.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, H. I. Mineralização e absorção por milho do nitrogênio do solo, da palha de milho-(^{15}N) e da uréia-(^{15}N). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p. 423-429, 1993.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; LIMA JUNIOR, M. A.; BETTANY, J. Decomposição de palha de milho-(^{14}C - ^{15}N) incorporada a três profundidades em um latossolo vermelho-amarelo de

Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 269-276, 1990.

SAMPAIO, E. V. S. B. Dinâmica de nitrogênio em solos de Pernambuco, especialmente em solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar. Recife, 1991. 115p. Tese (Titular) - Universidade Federal de Pernambuco.

SANTOS, G. A.; ROSSIELO, R. O. P.; FERNANDES, M. S.; O'GRADY, P. C. Efeitos da vinhaça sobre o pH do solo, a germinação e acúmulo de potássio em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 16, p. 489-493, 1981.

SCHERER, H. W.; MENGEL, K. The effect of a straw application on the content of nitrate and exchangeable ammonium in the soil and on the yield and nitrogen uptake of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*). **Land Forsch.**, v. 34, p. 194-205, 1981.

SENGIK, E.; KIEHL, J. C. Efeito de resíduos orgânicos e do fosfato monocálcico na volatilização de amônia em terra tratada com uréia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 321-326, 1995.

SORENSEN, L. H. Carbon-nitrogen relationships during the humification of cellulose in soils containing different amounts of clay. **Soil Biology and Biochemistry**, v.13, p. 313-321, 1981.

STANFORD, G.; SMITH, S. J. Nitrogen mineralization potentials of soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 36, p. 465-472, 1972.

TAUK, S. M.; RUEGGER, M. S. Alguns aspectos da microbiota do solo sob vegetação de cerrado, tratado com vinhaça no município de Corumbatai. SP, **Revista de Microbiologia**, v. 18, n.1, p. 67-76, 1987.

TERMAN, G. L. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments and crop residues. **Advances in Agronomy**, v. 31, p. 189-223, 1979.

TERRY, R. E.; NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Nitrogen transformation in sewage sludge - Environmental factors. **Soil Science Society America Journal**, v.45, p. 506-513, 1981.

TRIVELIN, P. C. O.; SALATI, E.; MATSUI, E. **Preparo de amostras para análise de ^{15}N por espectrometria de massas**. Piracicaba: CENA, 1973. 41p. (Boletim Técnico, 2).

VICTORIA, R. L.; PICCOLO, M. C.; VARGAS, A. A. T. O ciclo do nitrogênio. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M C. P. Microbiologia do Solo. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992: cap. 8, p. 105-119.

VELLOSO, A. C. X.; NUNES, M. R.; LEAL, J. R. Efeito da vinhaça na lixiviação de nutrientes do solo. 1. Nitrato e Amônio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, n. 1, p. 51-55, 1982.

VIETES, R. L.; BRINHOLI, O. Efeito da aplicação de vinhaça na fração amônio do solo nas profundidades de 20 cm. e 40 cm. **Energia na Agricultura**, v. 5, n. 4, p. 11-26, 1990.

YONEYAMA, T.; YOSHIDA, T. Decomposition of rice residue in tropical soils. III. Nitrogen mineralization and immobilization of rice residue during its decomposition in soil. **Soil Science Plant Nutrition**, v. 23, n.2, p. 175-183, 1977.

APÊNDICE

.

Apêndice 1 - Características físicas e químicas da camada arável (0-20cm) dos solos podzólico vermelho-amarelo (PV) e latossolo roxo (LR) ⁽¹⁾.

Solo	pH CaCl2 0,01M	Análise Granulométrica		Um. 33,5 kPa	M.O	N	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V			
		Argila	Areia														
		Argila	Areia														
		Argila	Silte														
<hr/>																	
												g kg ⁻¹	g dm ⁻³	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mmol _c dm ⁻³	%
<hr/>																	
PV	4,1	100	810	90	30,4	15	0,63	14	6,7	16	5	38	28	66	42		
LR	4,8	700	170	130	49,3	31	1,45	46	2,8	64	13	58	80	138	58		

(1) - Análise realizada no Departamento de Química ESALQ/USP e no Laboratório de Isótopos Estáveis CENA/USP.

Apêndice 2 - Características químicas das vinhaças natural e marcada com ^{15}N .

Vinhaça	N	C	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	pH
	g kg ⁻¹						
Natural	0,51	13,80	0,51	1,70	0,22	0,22	3,5
Marcada	0,45	13,30	0,43	1,80	0,20	0,21	3,5

Apêndice 3 - Fracionamento de nitrogênio das vinhaças natural e marcada com ^{15}N .

Vinhaça	N solúvel			N insolúvel			N total		
	%	kg m ⁻³	% atm ¹⁵ N	%	kg m ⁻³	% atm ¹⁵ N	%	kg m ⁻³	% atm ¹⁵ N
Natural	0,01	0,11	0,370	0,04	0,39	0,370	0,05	0,50	0,370
Marcada	0,01	0,14	8,531	0,03	0,33	1,550	0,04	0,47	3,629

Apêndice 4 - Perdas de água por evaporação mínima e máxima durante o experimento com o solo PV.

Tratamento	H ₂ O perdida			
	Mínima	Máxima	Média	Média Geral
	ml			
T	0,87	4,19	2,53	2,26
V*	0,60	5,75	3,18	2,37
U*	0,32	4,62	2,47	2,30
V+U*	0,23	7,55	3,89	3,34
V*+P	2,09	6,12	4,11	4,08
V*+U	2,04	9,12	5,58	4,18
U*+P	1,95	6,17	4,06	2,99
V+U*+P	2,09	7,04	4,57	2,33
V*+U+P	2,08	9,16	5,62	2,65
Média	1,36	6,64	4,00	2,95

* - Refere-se aos tratamentos com fontes marcadas com N¹⁵.

Apêndice 5 -Perdas de água por evaporação mínima e máxima durante o experimento com o solo LR.

Tratamento	H ₂ O perdida			
	Mínima	Máxima	Média	Media Geral
	ml			
T	5,20	16,35	10,77	11,34
V*	4,88	14,83	9,85	10,45
U*	5,62	17,60	11,61	13,22
V+U*	6,50	16,77	11,63	12,24
V*+P	6,76	15,68	11,22	12,02
V*+U	4,33	14,96	9,64	10,16
U*+P	7,52	16,44	11,98	12,02
V+U*+P	4,83	16,35	10,59	10,80
V*+U+P	2,57	12,34	7,54	7,84
Média	5,35	15,70	10,52	11,12

* - Refere-se aos tratamentos com fontes marcadas com N¹⁵.

Apêndice 6 - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) diárias mínima e máxima no laboratório durante os experimentos.

Experimento/ Solo PV					Experimento/ Solo LR						
Tempo Dias	Temperatura		Tempo Dias	Temperatura		Tempo Dias	Temperatura		Tempo Dias	Temperatura	
	Mín.	Máx.		Mín.	Máx.		Mín.	Máx.		Mín.	Máx.
°C											
1	23	24	18	23		1	25	31	18	25	
2	25	26	19	20	23	2	23	25	19	23	27
3	25	26	20	20	21	3	23	24	20	23	28
4	23	26	21	20	27	4	23	24	21	23	27
5	24	25	22	22	27	5	22	23	22	24	28
6	19	23	23	22	28	6	22	25	23	24	28
7	13	22	24	22	25	7	22	26	24	24	27
8	19	23	25	22	24	8	22	26	25	24	30
9	19,5	24	26	22	24	9	22	26	26	25	30
10	21	22	27	23	26	10	22	28	27	26	30
11	21	23	28	24	26	11	23	25	28	26	27
12	21	24	29	24	26	12	23	28	29	25	29
13	19	25	30	24	26	13	23	27	30	24	28
14	20	26	31	22	25	14	23	28	31	23	28
15	21	26	32	22	26	15	24	28	32	24	28
16	20	24	33	23	26	16	24	27	33	24	28
17	20	23	34	23	26	17	24	-	34	25	29
			35	24					35	25	

Apêndice 7 - N total, N-NH_4^+ e N-NO_3^- nas amostras do solo PV (mg kg^{-1}) aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação ⁽¹⁾.

Tratamentos	Tempo (dias)						Tempo (dias)						Tempo (dias)					
	0	7	14	21	28	35	7	14	21	28	35	7	14	21	28	35		
	N total amostra						N-NH ₄ ⁺ amostra						N-NO ₃ ⁻ amostra					
	mg kg ⁻¹						mg kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
T	630	566	588	607	600	583	4,30	10,40	1,50	3,7	2,9	14,1	13,10	11,6	11,0	6,8		
U*	850	775	798	772	808	794	171,3	142,9	101,4	82,2	67,7	32,5	27,03	64,9	71,6	89,8		
V*	730	716	641	646	593	673	3,73	10,70	1,27	4,9	3,7	1,7	1,40	1,4	2,0	2,1		
U*+V	950	862	794	809	897	897	90,80	123,2	92,67	89,1	66,1	22,5	14,20	18,5	34,4	50,8		
V*+U	950	823	821	890	835	797	93,70	112,6	90,93	90,7	57,5	22,0	10,20	23,1	35,9	47,0		
U*+P	1160	831	767	866	809	797	71,50	52,30	19,10	16,6	10,4	24,7	13,10	33,4	34,1	30,2		
V*+P	1040	753	716	738	696	808	3,60	10,93	1,30	3,2	2,0	0,7	2,10	0,8	1,1	0,9		
U*+V+P	1260	886	891	885	831	1034	13,13	17,77	3,20	4,2	3,0	9,8	6,63	9,6	8,4	6,4		
V*+U+P	1260	937	857	872	886	891	24,23	16,93	11,93	5,9	3,6	16,0	15,87	11,4	17,7	5,7		

⁽¹⁾ Médias de três repetições.

Apêndice 8 - N - Total, N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ nas amostras do solo LR (mg kg⁻¹) aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação⁽¹⁾.

Tratamentos	Tempo (dias)					Tempo (dias)					Tempo (dias)							
	0	7	14	21	28	35	7	14	21	28	35	7	14	21	28	35		
	N -total amostra						N-NH ₄ ⁺ amostra						N-NO ₃ ⁻ amostra					
	mg kg ⁻¹						mg kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
T	1450	1496	1530	1633	1554	1493	12,1	6,0	7,3	5,7	5,7	60,6	67,0	64,9	65,8	54,0		
V*	1550	1545	1511	1492	1523	1492	6,0	3,9	6,6	6,0	6,8	2,9	2,6	4,0	4,6	9,3		
U*	1670	1534	1538	1632	1658	1647	108,3	145,8	144,8	131,8	128,1	48,3	62,6	58,0	48,1	55,0		
V+U*	1770	1734	1752	1705	1703	1699	68,7	85,6	91,5	77,2	56,0	46,8	57,0	50,5	53,3	44,7		
P+V*	1860	1535	1483	1530	1642	1809	1,1	1,1	2,6	3,6	5,4	1,1	1,0	1,2	1,5	1,5		
V*+U	1770	1648	1705	1727	1700	1752	87,2	90,8	89,8	86,4	78,6	46,9	53,6	54,8	49,0	45,1		
P+U*	1980	1699	1535	1692	1778	1700	70,7	48,2	11,1	7,3	5,5	52,2	45,4	53,3	63,1	48,6		
P+V+U*	2080	1993	1967	1949	1886	1976	12,5	8,2	4,8	7,2	6,1	35,9	22,8	24,1	20,2	11,7		
P+V*+U	2080	1834	1942	1956	1937	1979	5,6	2,1	4,0	7,7	9,0	36,0	17,7	32,1	27,4	37,9		

⁽¹⁾ Médias de três repetições.

Apêndice 9 - ^{15}N -Total, $^{15}\text{N-NH}_4^+$ e $^{15}\text{N-NO}_3^-$ nas amostras do solo PV (átomo %) aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação ⁽¹⁾.

Tratamentos	Tempo (dias)					Tempo (dias)					Tempo (dias)									
	0	7	14	21	28	¹⁵ N-total amostra					¹⁵ N-NH ₄ ⁺ amostra					¹⁵ N-NO ₃ ⁻ amostra				
						átomo %					átomo %					átomo %				
T	0,370	0,503	0,411	0,406	0,377	0,384	0,535	0,520	0,413	0,469	0,433	0,397	0,397	0,384	0,378	0,383				
V*	3,629	0,820	0,846	0,835	0,824	0,784	0,600	0,555	0,772	1,023	1,033	0,719	0,710	0,514	0,569	0,495				
U*	7,800	1,692	1,771	1,831	1,902	1,796	6,811	6,604	6,547	5,773	5,750	1,856	3,811	4,536	4,452	5,391				
V+U*	7,800	1,703	1,763	1,739	1,625	1,577	5,597	4,421	4,083	4,336	4,118	0,562	2,224	1,763	1,808	2,512				
P+V*	3,629	0,783	0,781	0,762	0,731	0,730	0,613	0,540	0,785	3,286	0,580	0,552	0,550	0,457	0,568	0,470				
V*+U	3,629	0,710	0,696	0,670	0,662	0,663	1,195	1,177	1,165	1,122	1,085	0,463	0,836	0,554	0,539	0,812				
P+U*	7,800	2,002	1,964	1,770	1,879	1,822	6,218	4,969	5,565	4,222	4,408	1,235	2,215	2,623	3,104	3,026				
P+V+U*	7,800	1,853	1,744	1,635	1,789	1,705	3,774	3,175	3,051	1,236	0,821	0,869	0,952	0,687	0,819	1,906				
P+V*+U	3,629	0,743	0,687	0,675	0,674	0,660	1,112	0,892	3,200	0,671	0,501	0,465	0,410	0,477	0,467	0,497				

⁽¹⁾ Médias de três repetições.

Apêndice 10 - ^{15}N -Total, $^{15}\text{N-NH}_4^+$ e $^{15}\text{N-NO}_3^-$ nas amostras do solo LR (átomo %) aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação(1).

Tratamentos	Tempo (dias)					Tempo (dias)					Tempo (dias)					
	0	7	14	21	28	35	7	14	21	28	35	7	14	21	28	35
	¹⁵ N-total amostra					¹⁵ N-NH ₄ ⁺ amostra					¹⁵ N-NO ₃ ⁻ amostra					
	átomo %						átomo %					átomo %				
T	0,370	0,398	0,374	0,372	0,373	0,369	0,417	0,426	0,407	0,593	0,495	0,371	0,374	0,375	0,410	0,386
V*	3,629	0,569	0,556	0,570	0,568	0,574	1,297	1,296	0,682	0,832	0,832	0,648	0,997	1,092	1,015	1,324
U*	7,800	1,216	1,220	1,206	1,190	1,199	6,515	6,712	6,728	6,523	6,115	1,322	1,439	1,574	2,682	2,204
V+U*	7,800	1,224	1,196	1,190	1,191	1,121	6,201	5,818	5,286	4,962	4,551	0,775	1,070	1,202	1,520	1,601
P+V*	3,629	0,563	0,562	0,577	0,550	0,536	0,668	0,775	0,738	0,591	0,492	0,619	0,495	0,475	0,627	0,463
V*+U	3,629	0,559	0,549	0,546	0,542	0,527	0,820	1,082	1,118	1,055	1,038	0,400	0,439	0,535	0,541	0,667
P+U*	7,800	1,211	1,178	1,153	1,213	1,133	7,133	6,891	6,452	3,108	0,817	0,911	1,157	1,512	2,624	1,852
P+V+U*	7,800	1,128	1,146	1,147	1,126	1,111	5,523	4,752	2,126	1,422	1,211	0,652	0,815	1,840	1,603	1,733
P+V*+U	3,629	0,542	0,530	0,529	0,536	0,529	0,695	0,838	0,959	0,729	0,737	0,391	0,414	0,491	0,546	0,562

(1) Médias de três repetições.

Apêndice 11 -Equações de regressão polinomial significativas para as épocas dentro de cada tratamento nas frações de N e taxa transformação líquida de N derivado do fertilizante no solo PV.

N total-sdff						
Tratamento			X	X ²	X ³	r
U*	Y=	136,967	0,938			0,87
U*+P	Y=	183,900	-0,767			0,86
U*+P+V	Y=	217,267	-6,155	0,151		0,96
V*+P+U	Y=	97,123	-0,567			0,80
Nmin-sdff						
Tratamento			X	X ²	X ³	r
U*	Y=	162,28	-1,783			0,91
U*+V	Y=	73,037	-0,710			0,79
U*+P	Y=	61,924	-1,452			0,92
U*+P+V	Y=	9,273	-0,271			0,89
V*+U	Y=	28,912	-0,245			0,73
V*+P+U	Y=	6,559	-0,188			0,95
N-NH ₄ ⁺ sdff						
Tratamento			X	X ²	X ³	r
U*	Y=	172,014	-3,746			0,98
U*+V	Y=	76,687	-1,164			0,92
U*+P	Y=	61,442	-1,806			0,93
U*+P+V	Y=	8,699	-0,270			0,90
V*+U	Y=	30,126	-0,415			0,82
N-NO ₃ ⁻ sdff						
Tratamento			X	X ²	X ³	r
U*	Y=	-9,738	1,962			0,98
U*+V	Y=	-3,650	0,454			0,92
U*+P	Y=	0,467	0,357			0,88
V*+U	Y=	-1,263	0,170			0,81
TtransliqNsdff						
Tratamento			X	X ²	X ³	r
U*	Y=	15,632	-0,593			0,60
U*+V	Y=	7,592	-0,295			0,69
U*+P	Y=	5,097	-0,220			0,53
U*+V+P	Y=	2,535	-0,258	0,005		0,92
V*+U	Y=	3,190	-0,126			0,80
Nvtsdff						
Tratamento			X	X ²	X ³	r
U*	Y=	83,033	-0,938			0,87
U*+P	Y=	36,100	0,767			0,86
U*+P+V	Y=	2,733	6,155	-0,151		0,96
V*	Y=	-2,053	0,549			0,92
V*+P+U	Y=	2,877	0,567			0,80

Apêndice 12 - Equações de regressão polinomial significativas para as épocas dentro de cada tratamento nas frações de N e taxa de transformação líquida de N derivado do fertilizante no solo LR.

			Ntsdff			
Tratamento			X	X ²	X ³	r
U*+V	Y=	201,83	-0,5952			0,65
U*+P	Y=	302,00	-24,3169	1,3133	-0,0269	0,97
U*+P+V	Y=	179,30	2,1721	-0,0530		0,41
V*+U	Y=	100,89	-0,4248			0,84

			Nminsdff			
Tratamento			X	X ²	X ³	r
U*	Y=	58,627	6,729	-0,152		0,85
U*+V	Y=	69,726	-0,649			0,39
U*+P	Y=	74,268	-1,990			0,86
U*+P+V	Y=	10,333	-0,231			0,85
V*+U	Y=	3,023	3,835	-0,152		0,91

			N-NH ₄ ⁺ sdff			
Tratamento			X	X ²	X ³	r
U*	Y=	55,106	6,3486	-0,1499		0,91
U*+V	Y=	69,751	-0,949			0,76
U*+P	Y=	72,950	-2,354			0,94
U*+P+V	Y=	9,079	-0,279			0,9
V*+U	Y=	4,001	1,493	-0,033		0,93

			N-NO ₃ ⁻ sdff			
Tratamento			X	X ²	X ³	r
U*	Y=	4,376	0,275			0,96
U*+V	Y=	2,044	0,176			0,92
U*+P	Y=	1,318	0,364			0,67
V*	Y=	-0,589	0,078			0,88
V*+U	Y=	-0,221	0,111			0,95
V*+P+U	Y=	-0,679	0,081			0,93

			TtransliqNsdff			
Tratamento			X	X ²	X ³	r
U*	Y=	14,141	-0,522			0,91
U*+V	Y=	8,196	-0,338			0,92
U*+P	Y=	5,984	-0,272			0,55
U*+P+V	Y=	0,894	-0,039			0,56
V*+U	Y=	2,206	-0,078			0,94

			Nvtsdff			
Tratamento			X	X ²	X ³	r
U*+V	Y=	18,167	0,5952			0,81
U*+P	Y=	-82,000	24,3169	-1,3133	0,0207	0,99
U*+P+V	Y=	40,700	-2,172	0,0529		0,64
V*+U	Y=	-0,953	0,4257			0,91

Apêndice 13- Análise de variância pelo Teste de F das frações e Taxa de transformação líquida de ¹⁵N derivado do fertilizante no solo PV.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio					
		Ntsdff	Nmin-sdff	N-NH ₄ -sdff	N-NO ₃ -sdff	TtransliqNsdff	Nvtsdff
				mg kg ⁻¹		mg kg ⁻¹ dia ⁻¹	mg kg ⁻¹
Tratamento	7	25640,71 **	27811,53 **	16310,13 **	1709,72 **	18,35 **	8567,86 **
Tempo	4	263,24 *	1060,38 **	2698,43 **	409,24 **	191,02 **	263,69 *
Trat x Tempo	28	239,75 **	237,59 **	674,93 **	178,02 **	44,18 **	239,72 **
Resíduo	80	102,49	12,64	9,53	3,45	0,53	102,49
Total	119						
Média		123,84	30,74	24,65	6,09	0,71	36,17
cv(%)		8,18	11,57	12,52	30,51	103,50	27,99

Apêndice 14 - Análise de variância pelo Teste de F das frações e Taxa de transformação líquida de ^{15}N derivado do fertilizante no solo LR

Fonte de Variação		Quadrado Médio						
	GL	Ntsdff	Nmin-sdff	N-NH ₄ -sdff	N-NO ₃ -sdff	TtransliqNsdff	Nvtsdff	
		mg kg ⁻¹			mg kg ⁻¹ dia ⁻¹		mg kg ⁻¹	
Tratamento	7	37341,92 **	24782,16 **	20900,03 **	225,44 **	17,20 **	3739,17 **	
Tempo	4	195,57 **	362,54 **	676,02 **	70,33 **	105,16 **	195,30 **	
Trat x Tempo	28	146,54 **	363,97 **	423,97 **	13,42 **	23,28 **	146,77 **	
Resíduo	80	40,12	4,48	5,59	0,88	0,18	40,10	
Total	119							
Média		139,23	29,41	25,43	3,92	0,68	20,77	
cv (%)		4,55	7,20	9,30	23,93	62,78	30,48	