

INSTITUTO AGRONÔMICO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA
TROPICAL E SUBTROPICAL

**BIODEGRADAÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO,
MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO E ALTERAÇÕES
QUÍMICAS EM SOLOS TRATADOS COM VINHAÇA**

PAULA PREZOTTO

Orientador: Ronaldo Severiano Berton

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** em agricultura Tropical e Subtropical Área de Concentração em Gestão de Recursos Agroambientais

Campinas, SP
Fevereiro 2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Ficha elaborada pela bibliotecária do Núcleo de Informação e Documentação do Instituto Agronômico

P944b Prezotto, Paula
Biodegradação do carbono orgânico, mineralização do nitrogênio e alterações químicas em solos tratados com vinhaça / Paula Prezotto.
Campinas, 2009. 54 fls

Orientador: Ronaldo Severiano Berton
Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais)
– Instituto Agronômico

1. Cana-de-açúcar 2. Resíduos 3. Poluição. I Berton, Ronaldo Severiano
II. Título

CDD 633.61



SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA
DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO AGRONÔMICO
Pós-Graduação
Av. Barão de Itapuruá 1481 Caixa Postal 28
13001-970 Campinas, SP - Brasil
(019) 3231-5422 ramal 194
pgiac@iac.sp.gov.br



Curso de Pós-Graduação
Agricultura Tropical e Subtropical
Certificado de Aprovação

Título: **Biodegradação do carbono orgânico, mineralização do nitrogênio e alterações químicas em solos tratados com vinhaça**

Aluna: **Paula Prezotto**

Área de Concentração: **Gestão de Recursos Agroambientais**

Processo SAA nº: **12191/07**

Orientador: **Dr. Ronaldo Severiano Berton**

Aprovado pela Banca Examinadora:

Dr. Ronaldo Severiano Berton - IAC

Dr. Arnaldo Antonio Rodella - ESALQ/USP

Dra. Raffaella Rossetto - APTA

Visto:

Adriana Parada Dias da Silveira
Coordenadora
Pós-Graduação Instituto Agrônomo

Campinas, 30 de abril de 2009

Aos meus pais, Wande e Mila,
Pela compreensão e estímulo,

DEDICO

A minha família, aos amigos e a todos que
colaboraram para a realização deste
trabalho,

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

- Ao pesquisador Dr. Ronaldo Berton, pela oportunidade e orientação;
- A pesquisadora Dra. Aline Coscione, pela paciência, confiança, ensinamentos e amizade;
- A pesquisadora Dra. Raffaella Rossetto, de quem faço parte do fã clube, pelas sugestões e ensinamentos;
- A minha mãe, Dra. Maria Emília Mattiazzo, pela enorme paciência, carinho e por me explicar os efeitos da aplicação de vinhaça a solos enquanto ela escrevia sua dissertação de mestrado e eu escutava e aprendia de dentro da barriga;
- Aos amigos que sempre estiveram ao meu lado e me deram força para continuar;
- Aos professores da área de concentração de Gestão de Recursos Agroambientais da PG – IAC, pelos ensinamentos e conselhos transmitidos;
- A todos que colaboraram para realização e finalização deste trabalho.
- A cultura da cana-de-açúcar e a todos que trabalham arduamente desde seu cultivo até a colheita.

Antigamente, no Brasil, para se ter melado, os escravos colocavam o caldo da cana-de-açúcar em um tacho e levavam ao fogo. Não podiam parar de mexer até que uma consistência cremosa surgisse. Porém um dia, cansados de tanto mexer e com serviços ainda por terminar, os escravos simplesmente pararam e o melado desandou. O que fazer agora?

A saída que encontraram foi guardar o melado longe das vistas do feitor. No dia seguinte, encontraram o melado azedo fermentado. Não pensaram duas vezes e misturaram o tal melado azedo com o novo e levaram os dois ao fogo. Resultado: o 'azedo' do melado antigo era álcool que aos poucos foi evaporando e formou no teto do engenho umas goteiras que pingavam constantemente. Era a cachaça já formada que pingava. Daí o nome '**PINGA**'.

Quando a pinga batia nas suas costas marcadas com as chibatadas dos feitores ardia muito, por isso deram o nome de '**ÁGUA-ARDENTE**'.

Caindo em seus rostos escorrendo até a boca, os escravos perceberam que, com a tal goteira, ficavam alegres e com vontade de dançar. E sempre que queriam ficar alegres repetiam o processo.

(História contada no Museu do Homem do Nordeste).

SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	03
2.1 A Vinhaça.....	03
2.2 A Vinhaça no Solo.....	06
2.3 Impacto Ambiental.....	08
2.3.2 A Norma Técnica P4.231 da CETESB.....	10
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1 Solos Utilizados.....	11
3.2 Amostras de Vinhaças Utilizadas.....	12
3.3 Avaliação da Degradabilidade do Conteúdo Orgânico das Vinhaças.....	13
3.4 Determinação da Taxa de Mineralização do Nitrogênio (TMN) das Vinhaças.....	16
3.5 Método de Neubauer.....	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
4.1 Degradabilidade do Conteúdo Orgânico das Vinhaças.....	18
4.2 Mineralização do Nitrogênio Presente nas Vinhaças.....	31
4.3 Método de Neubauer.....	35
5 CONCLUSÕES.....	40
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
7 ANEXOS.....	45
7.1 Anexo 1.....	45
7.2 Anexo 2.....	46
7.3 Anexo 3.....	47
7.4 Anexo 4.....	48
7.5 Anexo 5.....	49
7.6 Anexo 6.....	50
7.7 Anexo 7.....	51
7.8 Anexo 8.....	52
7.9 Anexo 9.....	53
7.10 Anexo 10.....	54

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 -	Parâmetros Médios de Caracterização Físico-Química da Vinhaça (médias de 64 amostras de 28 Usinas cooperadas do Estado de São Paulo na safra 95/96).....	05
Tabela 2 -	Granulometria, parâmetros de fertilidade e porcentagem de potássio na CTC das amostras de solos utilizados nos ensaios.....	12
Tabela 3	Caracterização das vinhaças utilizadas.....	13
Tabela 4 -	Teor de carbono, nitrogênio e potássio adicionados em função das doses de vinhaças aplicadas aos frascos respirômetros.....	14
Tabela 5 -	Valores do coeficiente de correlação (r), constante de velocidade da reação de degradação, carbono potencialmente mineralizável (C_m), porcentagem de degradação e meia vida obtidos no ensaio de biodegradação – Primeira aplicação de vinhaça.....	24
Tabela 6 -	Valores do coeficiente de correlação (r), constante de velocidade da reação de degradação, carbono potencialmente mineralizável (C_m), porcentagem de degradação e meia vida obtidos no ensaio de biodegradação – Segunda aplicação de vinhaça.....	25
Tabela 7 -	Valores do coeficiente de correlação (r), constante de velocidade da reação de degradação, carbono potencialmente mineralizável (C_m), porcentagem de degradação e meia vida obtidos no ensaio de biodegradação – Terceira aplicação de vinhaça.....	25
Tabela 8 -	Caracterização química do solo arenoso ao final do ensaio de biodegradação.....	27
Tabela 9 -	Caracterização química do solo argiloso ao final do ensaio de biodegradação.....	28
Tabela 10 -	Caracterização química do solo argiloso saturado com potássio ao final do ensaio de biodegradação.....	28
Tabela 11 -	Porcentagem de K na CTC dos solos após incubação com vinhaça mosto misto e vinhaça concentrada.....	30
Tabela 12 -	Condutividade elétrica (C.E.) dos solos após incubação com vinhaça mosto misto e vinhaça concentrada.....	31
Tabela 13 -	Taxa (fração) de mineralização do nitrogênio contido nas amostras de vinhaça.....	34
Tabela 14 -	Extração de potássio pelas plantas de arroz nos diferentes solos e tratamentos ao final do ensaio tipo Neubauer.....	38

Tabela 15- Porcentagem (%) de potássio extraído pelas plantas de arroz nos diferentes solos e tratamentos ao final do ensaio tipo Neubauer..... 39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Fases do processamento do açúcar e do álcool e as quantidades geradas de subprodutos.....	04
Figura 2 - CO ₂ acumulado emanado no solo arenoso incubado com vinhaça mosto misto (VMM), vinhaça concentrada (VC) e glicose (G) após primeira aplicação.....	19
Figura 3 - CO ₂ acumulado emanado no solo argiloso incubado com vinhaça mosto misto (VMM), vinhaça concentrada (VC) e glicose (G) após primeira aplicação.....	20
Figura 4 - CO ₂ acumulado emanado no solo argiloso saturado com potássio incubado com vinhaça mosto misto (VMM), vinhaça concentrada (VC) e glicose (G) após primeira aplicação.....	20
Figura 5 - CO ₂ acumulado emanado no solo arenoso incubado com vinhaça mosto misto (VMM), vinhaça concentrada (VC) e glicose (G) após segunda aplicação.....	21
Figura 6 - CO ₂ acumulado emanado no solo argiloso incubado com vinhaça mosto misto (VMM), vinhaça concentrada (VC) e glicose (G) após segunda aplicação.....	21
Figura 7 - CO ₂ acumulado emanado no solo argiloso saturado com potássio incubado com vinhaça mosto misto (VMM), vinhaça concentrada (VC) e glicose (G) após segunda aplicação.....	22
Figura 8 - CO ₂ acumulado emanado no solo arenoso incubado com vinhaça mosto misto (VMM), vinhaça concentrada (VC) e glicose (G) após terceira aplicação.....	22
Figura 9 - CO ₂ acumulado emanado no solo argiloso incubado com vinhaça mosto misto (VMM), vinhaça concentrada (VC) e glicose (G) após terceira aplicação.....	23
Figura 10 - CO ₂ acumulado emanado no solo argiloso saturado com potássio incubado com vinhaça mosto misto (VMM), vinhaça concentrada (VC) e glicose (G) após terceira aplicação.....	23
Figura 11 - Mineralização do nitrogênio presente na vinhaça mosto misto (VMM) e vinhaça concentrada (VC) no solo arenoso.....	32
Figura 12 - Mineralização do nitrogênio presente na vinhaça mosto misto (VMM) e vinhaça concentrada (VC) no solo argiloso.....	33

Figura 13 - Mineralização do nitrogênio presente na vinhaça mosto misto (VMM) e vinhaça concentrada (VC) no solo argiloso saturado com potássio.....	33
Figura 14 - Aspecto dos tratamentos (controle, testemunha, vinhaça mosto misto e vinhaça concentrada) no solo arenoso.....	35
Figura 15 - Aspecto do sistema radicular dos tratamentos (controle, testemunha, vinhaça mosto misto e vinhaça concentrada) no solo arenoso.....	35
Figura 16 - Aspecto dos tratamentos (controle, testemunha, vinhaça mosto misto e vinhaça concentrada) no solo argiloso.....	36
Figura 17 - Aspecto do sistema radicular dos tratamentos (controle, testemunha, vinhaça mosto misto e vinhaça concentrada) no solo argiloso.....	36
Figura 18 - Aspecto dos tratamentos (controle, testemunha, vinhaça mosto misto e vinhaça concentrada) no solo saturado com potássio.....	37
Figura 19 - Aspecto do sistema radicular dos tratamentos (controle, testemunha, vinhaça mosto misto e vinhaça concentrada) no solo argiloso saturado com potássio.....	37

PREZOTTO, P. **Biodegradação do carbono orgânico, mineralização do nitrogênio e alterações químicas em solos tratados com vinhaça**. 2009. 54 fls. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) – Pós-Graduação – IAC.

RESUMO

Estudos realizados com vinhaça demonstram o seu potencial como fertilizante potássico para a lavoura canieira. Entretanto, aspectos ambientais da adição deste resíduo ao solo têm sido pouco estudados, em especial no que se refere à lixiviação de nitratos e conseqüente contaminação da água subterrânea. Atualmente a dose de vinhaça a ser adicionada a solos é baseada no critério do potássio (K), entretanto há necessidade de se avaliar a possibilidade do critério da dose a ser adicionada ser limitada pelo nitrogênio conforme é o usual para os demais resíduos. Visto que as reações de degradação de constituintes orgânicos presentes em resíduos ocorrem concomitantemente às reações de mineralização do nitrogênio, o presente estudo teve por objetivo: a) a avaliação da degradação do carbono (C) orgânico presente em dois diferentes tipos de vinhaça quando adicionadas repetidas vezes a três diferentes solos em taxas correspondentes a 200 g ha⁻¹ de K₂O em cada aplicação; b) a determinação da taxa de mineralização do nitrogênio de duas amostras de vinhaça; c) a verificação da equivalência entre a taxa de degradação do carbono orgânico e a taxa de mineralização do nitrogênio, d) verificar o efeito dessas aplicações sucessivas sobre a degradação do carbono adicionado por meio da vinhaça e o efeito da condutividade elétrica do solo, modificada pelas sucessivas adições de vinhaça, no crescimento de plantas usando arroz, como planta teste. O estudo evidenciou, de maneira geral, que a vinhaça mosto misto pode possuir maior potencial poluidor, dependendo da dose utilizada, do que a vinhaça concentrada, em função da rápida degradação do seu conteúdo orgânico. Houve acúmulo de K e aumento da condutividade elétrica nos solos em função das reaplicações de vinhaça, entretanto, as reações de degradação C-orgânico das vinhaças não foram afetadas, assim como o crescimento e acúmulo de matéria seca pelas plantas não foram restringidos. Ambas as vinhaças utilizadas têm potencial para fornecer todo o nitrogênio exigido pela cultura da cana-de-açúcar. A degradação do carbono foi um parâmetro melhor para avaliar a mineralização do nitrogênio uma vez que as duas reações ocorrem simultaneamente.

Palavras-chave: cana-de-açúcar, resíduos, poluição.

PREZOTTO, P. **Mineralization of carbon and nitrogen and some chemical alterations on soils fertilized with vinasse.** 2009. 54 p. Dissertation (Master in Tropical and Subtropical Agriculture). Post-Graduation – IAC.

ABSTRACT

Vinasse, the liquid residue from alcohol production, is applied to soils as a potassium (K) source. However, there are few studies to verify the environmental impacts of vinasse application on agricultural soils, especially considering nitrate leaching and the possibility of underground water contamination. Nowadays, the rates of vinasse application are based on K concentration, however there is a need to evaluate the possibility to determine and limit application rates considering the nitrogen (N) since the application rates for other residues are limited by N components. The mineralization of organic contents present in residues occurs simultaneously with N mineralization reactions and the purpose of the present study is: a) to determine the mineralization of organic carbon (C) in two different types of vinasse (mixed and concentrated vinasse) applied in three successive times, being 200 kg ha⁻¹ of K₂O the rate of application in all applications; b) evaluation of N mineralization fraction in two types of vinasse; c) verify the equivalence between organic C and N mineralization rates; d) verification of successive applications rates of vinasse regarding the mineralization of organic C fraction added by this residue since successive applications can promote alterations on soils electric conductivity and affect the development of plants. For this experiment rice was used as plant test. The study showed that mixed vinasse presented higher pollution potential when compared to concentrated vinasse, since mineralization of organic components present on mixed vinasse occurred faster. Potassium was accumulated on soils due to successive applications of vinasse, however, the organic carbon mineralization reactions were not reduced and plant growth and dry matter accumulated were not affected. Both vinasses (mixed and concentrated) used in this study can provide all N required by sugarcane plantations. C mineralization rates, determined by respirometry, are a better parameter to evaluate the amount of available nitrogen since both reactions occur simultaneously.

Key-words: sugarcane; residues; pollution.

1 INTRODUÇÃO

Devido às extensas áreas de produção de cana-de-açúcar, a geração de resíduos na indústria sucroalcooleira é por si só, impactante, tendo em vista as quantidades de resíduos que são geradas. De acordo com GLÓRIA (1976), para cada tonelada de cana-de-açúcar que é moída numa usina com destilaria anexa, são geradas cerca de 250 kg de bagaço, 350 kg de torta de filtro, 6 kg de fuligem + cinzas e 156 litros de vinhaça. No caso de destilaria, para cada tonelada de cana moída são gerados em média 80 litros de álcool e cerca de 1040 litros de vinhaça (ORLANDO FILHO, 1983). Tendo em vista que esses resíduos constituem-se em matéria prima para outras atividades agrícolas e industriais eles são, atualmente, considerados subprodutos. A reutilização desses subprodutos no próprio processo produtivo faz do setor sucroalcooleiro um exemplo a ser seguido no quesito gerenciamento ambiental (ROSSETTO et al., 2008).

No que se refere à vinhaça, subproduto líquido da produção de álcool, o teor de potássio presente faz com que sua principal utilização seja como fonte desse nutriente para a cultura da cana-de-açúcar embora.

Entretanto, apesar dos já conhecidos benefícios do uso da vinhaça no solo agrícola, são poucos os trabalhos que tratam do impacto ambiental decorrente de seu uso continuado, podendo-se citar a preocupação com a lixiviação de nitratos e a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas. Tendo em vista os diferentes tipos de solo e diferentes tipos de vinhaça, os resultados dos estudos relacionando vinhaça e poluição por nitrato de águas subterrâneas são bastante variáveis; contudo, existe consenso de que a aplicação de vinhaça deve ser feita com base em um critério definido e de acordo com a capacidade do solo em trocar e reter íons associada a absorção pelas plantas de nutrientes contidos nesse subproduto (SILVA et al., 2007).

Para normatizar a aplicação de vinhaça, de forma a evitar a contaminação do lençol freático foi publicada, em dezembro de 2006, pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) a Norma Técnica P4.231, que estabelece critérios e procedimentos para aplicação de vinhaça em solos agrícolas no estado de São Paulo. Segundo essa norma, a taxa de aplicação é função do teor de K_2O da vinhaça, da CTC do solo e da porcentagem de K existente nos sítios de troca do solo, ou seja, o cátion potássio deve ocupar, no máximo, 5% das cargas presentes na capacidade de troca

catiônica (CTC) do solo. Em solos onde se encontra mais de 5% de K presente na CTC, só é possível a aplicação de vinhaça para fornecer a quantidade de K exigido pela cultura da cana, determinada como $185 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$.

Dessa forma verifica-se que a capacidade do solo em reter cátions, mais especificamente o potássio, pode limitar a aplicação de vinhaça. Também se pode constatar que, diferentemente do que é feito para outros resíduos onde o critério da adição aos solos é baseado no nitrogênio, o critério para adição de vinhaça aos solos é baseado no nutriente potássio o que pode levar, erroneamente, à conclusão de um possível efeito tóxico do potássio ao solo e as plantas. No caso particular da cultura da cana de açúcar, existe o conhecido efeito denominado “consumo de luxo” de potássio, o que faz com que doses acima do necessário para boa produtividade possam ser absorvidas pela cultura sem que haja qualquer efeito negativo.

Como a aplicação de vinhaça também adiciona ao solo constituintes orgânicos contendo nitrogênio, o potencial poluidor do NO_3^- poderia ser mais relevante do que a saturação da CTC por potássio. Assim sendo, o critério adotado pela norma da CETESB poderia ser reconsiderado.

Visto que as reações de degradação dos constituintes orgânicos ocorrem concomitantemente às reações de mineralização do nitrogênio, o presente estudo teve por objetivo:

a) Avaliar a degradação do carbono (C) orgânico presente em dois diferentes tipos de vinhaça quando adicionadas repetidas vezes a três diferentes solos em taxas correspondentes a 200 kg ha^{-1} de K_2O da vinhaça mosto misto e 500 kg ha^{-1} de K_2O de vinhaça concentrada em cada aplicação;

b) Verificar o efeito de aplicações sucessivas de vinhaça sobre na condutividade elétrica do solo;

c) Determinar a taxa de mineralização do nitrogênio de duas amostras de vinhaça e verificar a equivalência entre a taxa de degradação do carbono orgânico e a taxa de mineralização do nitrogênio;

d) Avaliar a influência do acúmulo de K e da elevação da condutividade elétrica na produção de matéria seca de plantas de arroz pelo teste de Neubauer.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Vinhaça

Vinhaça, também denominada de vinhoto, vinhote, restilo, calda de destilaria, caxixi, garapão, tiborna, a depender da região, é um subproduto da produção de etanol, butanol e aguardente. Na marcha normal de fabricação das usinas que possuem destilarias anexas, calcula-se uma geração de 13 litros de vinhaça para cada litro de álcool produzido. A Figura 1 apresenta o fluxograma de produção de álcool em uma destilaria e numa destilaria anexa à usina de açúcar, com as quantidades geradas dos diversos subprodutos nos processos industriais. A vinhaça apresenta-se como um líquido de cor parda clara, escurecendo, à medida que se oxida pela exposição no ar. O seu pH é usualmente baixo (4,3 a 5,0) e a presença de ácido sulfúrico livre, usado nas dornas de fermentação, torna-o corrosivo (MAGISTRA, 1984).

A composição química da vinhaça é bastante variável dependendo, principalmente, de fatores como a natureza e a composição da matéria prima, do sistema usado no preparo do mosto, do método de fermentação adotado, do sistema de condução da fermentação alcoólica, da raça de levedura utilizada, do tipo de aparelho de destilação empregado, da maneira de destilação e do tipo de flegma separado (GLÓRIA & ORLANDO FILHO, 1984).

No que se refere ao sistema de preparação do mosto, quando se utiliza exclusivamente caldo de cana para a fermentação, a vinhaça resultante é sempre menos concentrada que a vinhaça proveniente de mosto de melaço ou de mosto misto, que é uma mistura de caldo de cana e melaço. Além disto, a concentração da vinhaça varia de usina para usina, e dentro de cada usina, existem variações nos diversos dias da safra e mesmo num mesmo dia, em função da moagem de diferentes variedades de cana, com diferentes índices de maturação, provenientes de diferentes solos, de diferentes níveis de fertilidade, entre outros (ROSSETTO, 2008). Na Tabela 1 são apresentados os valores mínimos, médios e os máximos observados na caracterização físico-química de amostras de vinhaça na safra 95/96, segundo ELIA NETO E NAKAHONDO (1995).

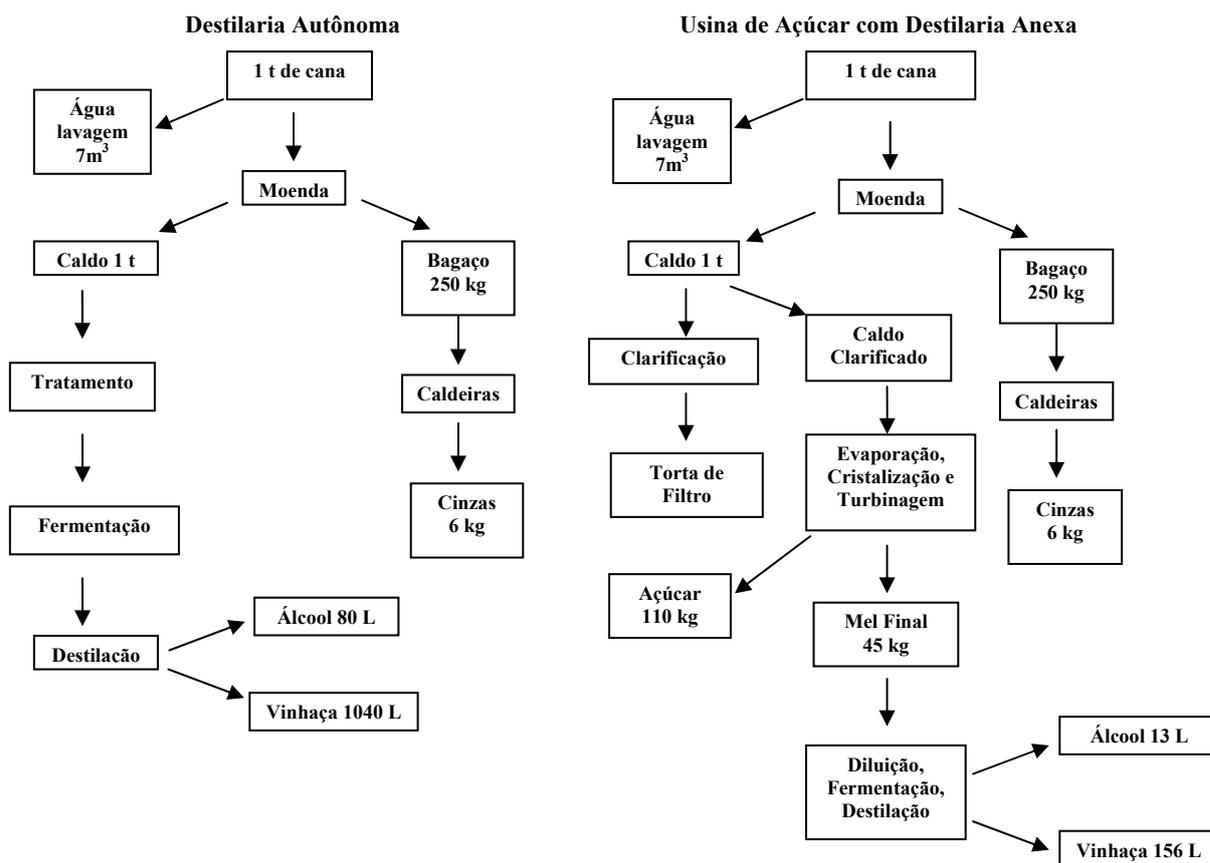


Figura 1 - Fases do processamento do açúcar e do álcool e as quantidades geradas de subprodutos. Atualizado de ORLANDO FILHO. 1983, citada por WALANE et al., 2008.

O alto teor de potássio encontrado na vinhaça, entre outros nutrientes, faz com que esse resíduo tenha sua principal utilização como fertilizante para a cultura da cana-de-açúcar.

O potássio é o macronutriente mais extraído pela cana-de-açúcar que o acumula em grande quantidade, com o efeito denominado “consumo de luxo”, sem que haja toxicidade pela presença excessiva. A maior parte do potássio absorvida concentra-se nos colmos, e cerca de 45% permanece nas folhas, sendo que as folhas, que formarão a palhada da cana. Com o sistema de produção de cana sem queimada, verifica-se que a maior parte de potássio retorna ao sistema, uma vez que as folhas permanecem no talhão e o potássio que foi extraído pelos colmos, retorna ao solo através da vinhaça (ROSSETTO et al., 2008).

Tabela 1 – Parâmetros Médios de Caracterização Físico-Química da Vinhaça (médias de 64 amostras de 28 Usinas cooperadas do Estado de São Paulo na safra 95/96).

Parâmetros de caracterização de amostras de vinhaça	Valores		
	Mínimo	Médio	Máximo
pH	3,5	4,2	4,9
Temperatura (°C)	65	89	111
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO ₅) (mg L ⁻¹)	6680	16950	75330
Demanda Química de Oxigênio (DQO) (mg L ⁻¹)	9200	28450	97400
Sólidos Totais (ST) (mg L ⁻¹)	10780	25155	38680
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mg L ⁻¹)	260	3967	9500
Sólidos Suspensos Fixos (SSF) (mg L ⁻¹)	40	294	1500
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) (mg L ⁻¹)	40	3632	9070
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mg L ⁻¹)	1509	18420	33680
Sólidos Dissolvidos Fixos (SDF) (mg L ⁻¹)	921	11872	24020
Sólidos Dissolvidos Voláteis (SDV) (mg L ⁻¹)	588	6580	15000
Resíduos Sedimentáveis (RS) 1 hora (mg L ⁻¹)	0,2	2,3	20,0
Cálcio (mg L ⁻¹ CaO)	71	515	1096
Cloreto (mg L ⁻¹ Cl)	480	1219	2300
Cobre (mg L ⁻¹ CuO)	0,5	1,2	3,0
Ferro (mg L ⁻¹ Fe ₂ O ₃)	2,0	25,2	200,0
Fósforo total (mg L ⁻¹ P ₂ O ₄)	18,0	60,4	188,0
Magnésio (mg L ⁻¹ MgO)	97	226	456
Manganês (mg L ⁻¹ MnO)	1,0	4,8	12,0
Nitrogênio (mg L ⁻¹ N)	90	357	885
Nitrogênio amoniacal (mg L ⁻¹ N)	1,0	10,9	65,0
Potássio total (mg L ⁻¹ K ₂ O)	814	2035	3852
Sódio (mg L ⁻¹ Na)	8,0	51,6	220,0
Sulfato (mg L ⁻¹ SO ₄)	790	1538	2800
Sulfito (mg L ⁻¹ SO ₄)	5,0	35,9	153,0
Zinco (mg L ⁻¹ ZnO)	0,7	1,7	4,6
Etanol – CG (mg L ⁻¹)	0,1	0,9	119,0
Glicerol (mg L ⁻¹)	2,6	5,9	25,0
Levedura (base seca) (mg L ⁻¹)	114	404	1500

Fonte: ELIA NETO & NAKAHONDO, 1995.

Com o crescimento da área de cana-de-açúcar plantada, estima-se que foram produzidos na safra 2007/2008, 312 bilhões de litros de vinhaça, o que corresponde a aproximadamente 31 mil toneladas de K_2O . Tal quantidade representa 1,2% do total do fertilizante potássio importado pelo país e que, aparentemente pode ser pouco, mas pode gerar uma economia de sete milhões de dólares na balança comercial (BIANCHI et al., 2008).

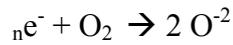
2.2 A Vinhaça no Solo

A indústria sucroalcooleira foi a primeira indústria a usar no solo agrícola os resíduos produzidos na área industrial. O lançamento desses resíduos e, principalmente, da vinhaça em corpos de água lhos é tremendamente nocivo e proibido pela legislação ambiental, dada sua alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Entretanto, quando disposta no solo de forma racional, o alto potencial poluidor da vinhaça é diminuído uma vez que os microorganismos do solo passam a decompor a matéria orgânica nela contida.

Analisando-se a constituição da vinhaça, nota-se que, independente do seu tipo, predomina a matéria orgânica na fração dos sólidos. Portanto, seria esperado que a adição de vinhaça ao solo correspondesse, em primeiro lugar, a uma fertilização orgânica, devendo-se esperar, neste caso, todos os efeitos que geralmente são atribuídos à matéria orgânica quando adicionada aos solos (GLORIA & ORLANDO FILHO, 1983).

Muitos autores estudaram os efeitos da vinhaça nos solos ao longo do tempo e concluíram que: a vinhaça promove uma elevação no pH dos solos; aumenta a Capacidade de Troca Catiônica (CTC), fornece e aumenta a disponibilidade de alguns nutrientes; melhora a estrutura do solo, aumenta a retenção de água; melhora a atividade biológica promovendo maior número de pequenos animais (minhocas, besouros, etc.), bactérias e fungos. Eventuais efeitos prejudiciais causados aos solos ou às plantas foram, normalmente, decorrentes de doses excessivas (FERREIRA & MONTEIRO, 1987; LEME et al., 1980, CAMARGO et al., 1983, GLÓRIA & ORLANDO FILHO, 1983, in ROSSETTO, 2008).

Os efeitos no pH e CTC do solo, entretanto, foram efêmeros e dependentes da permanência do material orgânico adicionado ao solo (MATTIAZZO & GLÓRIA, 1987). Segundo os autores, as reações que explicam a elevação do pH são descritas, resumidamente, a seguir:



Onde, $n e^-$ - é o número de elétrons que são liberados no meio pela reação de oxirredução.

A degradação da matéria orgânica libera elétrons que são recebidos pelo O_2 do meio em condições aeróbias. O íon oxigênio é uma base forte que reage com íons H^+ do meio responsável pela acidez do solo.

LEAL et al., (1983), avaliaram variações de pH e potencial redox que acompanham a aplicação de vinhaça através da utilização de doses crescentes desse resíduo (0, 100, 200, 400 e 800 $m^3 ha^{-1}$). Para isso, um receptor de elétrons adicional ao oxigênio foi fornecido ao solo, com o objetivo de confirmar, via monitoramento, o desenvolvimento de processos de redução. A manutenção das amostras no interior de frascos hermeticamente fechados possibilitou a medição do CO_2 liberado e, portanto, da atividade microbiológica do solo. Verificou-se aumento de até 2,1 unidades de pH e abaixamento do potencial redox. Elevados teores de CO_2 liberado confirmaram a esperada explosão de população microbiológica estimulada pelos compostos orgânicos da vinhaça, e que imprimem uma alta demanda de oxigênio ao solo. A diminuição no teor de $N-NO_2$ das amostras de solo indicam a possibilidade do NO_3^- ter sido usado como receptor de elétrons após a exaustão do oxigênio causada por essa alta demanda de oxigênio. Esses resultados sugerem que o aumento do pH do solo observado por diversos autores após aplicação de vinhaça, decorre de reações de redução, que consomem íons H , então dominantes no solo e que se refletem no abaixamento do potencial redox.

De maneira geral, a utilização da vinhaça no solo pode alterar seus atributos químicos, favorecendo o aumento da disponibilidade de alguns elementos para as plantas. Por outro lado, a vinhaça também pode promover modificações dos atributos físicos do solo, de duas formas distintas: melhorar a agregação, ocasionando a elevação da capacidade de infiltração da água no solo e, conseqüentemente, aumentar a

probabilidade de lixiviação de íons, de forma a contaminar as águas subterrâneas quando em concentrações elevadas. A outra forma seria a de promover a dispersão de partículas do solo, com redução da sua taxa de infiltração de água e elevação do escoamento superficial, com possível contaminação de águas superficiais. Pelo fato de haver diferentes tipos de solo e composições de vinhaça, os resultados dos estudos sobre vinhaça e poluição de águas subterrâneas são bastante variáveis (SILVA et al. 2007).

Os efeitos da aplicação de vinhaça sobre as populações microbianas do solo foi avaliado por NEVES et al. (1983), aumentos substanciais, mas temporários foram observados nas populações de bactérias e fungos. A adição de vinhaça introduziu não apenas carbono, mas nitrogênio em forma prontamente assimilável, o que acarretou inicialmente um breve aumento na população bacteriana não fixadora de nitrogênio e inibiu temporariamente a população de bactérias fixadoras de N. A população das fixadoras de nitrogênio aumentou, entretanto, rapidamente após o declínio da população das não fixadoras, ocorrendo uma correlação negativa significativa entre esses grupos de microrganismos. O nitrogênio total dos solos incubados com vinhaça aumentou acima dos níveis adicionados pela vinhaça refletindo, desta forma, incorporação via fixação biológica de nitrogênio.

2.3 Impacto Ambiental

No aspecto ambiental, a vinhaça pode ser definida como um efluente de alto poder poluidor em função do conteúdo de matéria orgânica presente e que confere a ela uma Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) de 500 mg L^{-1} de O_2 (Tabela 1). Tendo em vista que 1 mol de C do material orgânico reage com 1 mol de Oxigênio para dar origem a 1 mol de CO_2 tem-se que o valor observado para a DBO significa que são necessários 500 mg de oxigênio para oxidar 187,5 mg de C contido em 1 L de vinhaça. Apenas considerando a quantidade de O_2 necessária para oxidar o carbono orgânico contido em 1 L de vinhaça já fica explicada a mortandade de peixes que era verificada anteriormente à década de 70, quando do descarte desse subproduto nos cursos d'água. Tendo em vista que são gerados milhões de litros de vinhaça a cada safra, fica evidenciada a necessidade do uso racional desse subproduto no solo agrícola. Entretanto, a mesma matéria orgânica que apresenta um poder poluidor quando adicionada a cursos d'água possui características fertilizantes quando adicionada a solos. Aliada ao conteúdo orgânico, a presença do potássio na vinhaça é o principal fator para o uso desse subproduto no solo agrícola, uma vez que esse nutriente é quase

que totalmente importado. O nutriente potássio é um dos mais carentes em nossos solos, ocupando sempre a maior proporção nas formulações de adubação da cultura da cana-de-açúcar. Considerando estes aspectos, constata-se que estudos da utilização e aplicação de vinhaça não devem visar unicamente a diminuição do problema da poluição, mas principalmente o aproveitamento mais racional possível do seu alto valor fertilizante (LEME et al., 1979). Através deste trabalho verifica-se que, apesar de publicado há 30 anos, o tema continua muito atual.

Trabalhos sobre a composição da vinhaça comprovam sua extrema variação durante o período de safra e a predominância do potássio entre os cátions. No entanto, essa riqueza em potássio, se por um lado se mostra bastante atrativa para efeito de adubação, por outro traz preocupações quanto à elevação do teor desse elemento no caldo de cana, por causa de seu caráter reconhecidamente melassigênico. A aplicação de vinhaça deve, portanto ser efetuada racionalmente, visando fornecer a quantidade de nutrientes exigida pela planta, sem, contudo possibilitar efeitos nocivos no processamento da cana irrigada com o subproduto (RODELLA & FERRARI, 1977).

A utilização contínua da vinhaça nos mesmos solos, mesmo que em dosagens baixas, ano após ano, pode gerar a saturação de cátions, principalmente de potássio na CTC dos solos, ocasionando problemas de lixiviação de seus constituintes para águas subterrâneas. A lixiviação de potássio para a subsuperfície não seria um problema ambiental, uma vez que o potássio não é poluente de águas. O problema é que a alta concentração de potássio favorece a formação de pares iônicos, que, com carga neutra, são lixiviados. O par iônico formado entre o $(K)^+$ e o $(NO_3)^-$ é especialmente preocupante do ponto de vista ambiental porque o nitrato, sim, é grande poluente de águas (ROSSETTO, 2008).

Em trabalho realizado por BRITO et al. (2007), para avaliar a qualidade do percolado de solos que receberam vinhaça em diferentes doses e tempos de incubação, foram utilizados três solos os quais foram tratados com vinhaça em doses equivalentes a zero (Testemunha), 350 e 700 m³ ha⁻¹ submetidos aos tempos de incubação de 30 e 60 dias. Os efluentes coletados foram analisados quanto à DBO₅, DQO, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais e pH. Os resultados obtidos indicaram que as variações verificadas nos parâmetros analisados, decorrentes da aplicação de vinhaça ao solo, não trazem maiores preocupações quanto às questões ambientais.

2.3.1 A Norma Técnica P4.231 da CETESB

Para promover uma disposição adequada da vinhaça, de forma a evitar a poluição do solo e da água subterrânea (cursos d'água), foi criada pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) a Norma Técnica P4.231, versão janeiro/2005, que estabelece critérios e procedimentos para aplicação de vinhaça em solos agrícolas no estado de São Paulo. Tais critérios envolvem a caracterização físico-química da vinhaça onde devem ser avaliados os parâmetros: pH, dureza, condutividade elétrica, nitrogênio Kjeldhal, nitrogênio-nitrito, nitrogênio-amoniaco, nitrogênio-nitrato, sódio, cálcio, potássio, magnésio, sulfato, fosfato total, DBO⁽¹⁾ (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO⁽²⁾ (Demanda Química de Oxigênio).

Além da caracterização físico-química da vinhaça, é necessário fazer a determinação do teor de K₂O, em kg m⁻³, semanalmente na vinhaça. Em função dos resultados dessa determinação é feito o cálculo da dose de vinhaça a ser aplicada ao solo.

ORLANDO FILHO et al. (1995), avaliando a aplicação de vinhaça em solo arenoso e a possibilidade de poluição de águas subterrâneas por lixiviação de formas de nitrogênio, conduziu um ensaio usando fertilizante contendo N inorgânico e doses de vinhaça. Os dados obtidos em quatro períodos de amostragens e em três profundidades de solo, até dois metros de profundidade, indicaram não haver lixiviação do N-NO₃⁻, N-NH₄⁺, ou outros compostos contendo nitrogênio. Os autores concluíram que não ocorreram problemas de poluição devido ao N do fertilizante mineral ou da vinhaça, atribuindo os resultados obtidos à imobilização microbiológica do N no solo.

Embora a literatura acerca dos efeitos da vinhaça no solo e nas águas subterrâneas seja ainda bastante limitada, nos poucos trabalhos com vinhaça e cana-de-açúcar foi possível verificar que os resultados são bastante variáveis em razão da grande diversidade de solos e composição das vinhaças. No entanto, em relação à dose aplicada que apresentaria menores chances de contaminação de águas subterrâneas deve ser relacionada ao tipo e condições do solo local, isto é, de acordo com o conteúdo de matéria orgânica, classe textural, existência de vinhaça residual, uma vez que esses exercem influência sobre a CTC e capacidade de armazenamento e infiltração de água

⁽¹⁾DBO₅ – Demanda Bioquímica ou Biológica de Oxigênio Determinada em 5 dias.

⁽²⁾DQO – Demanda Química de Oxigênio.

no solo, além da profundidade do lençol freático, proximidade de nascentes e intensidade de atividade vegetal na área (SILVA, 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos para avaliar a degradabilidade do conteúdo orgânico das vinhaças; taxa de mineralização do nitrogênio e crescimento de plantas de arroz no ensaio tipo Neubauer foram conduzidos em laboratório, em condições de umidade e temperatura controladas ao longo dos ensaios. A temperatura ambiente foi mantida a $28 \pm 2^\circ\text{C}$ e a umidade dos solos foram ajustadas para 70% da capacidade de retenção de água (CRA) no decorrer dos experimentos.

3.1 Solos Utilizados

Para a condução dos estudos foram utilizadas amostras de terra retiradas de três solos classificados como: Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (Arg), coletado na Estação Experimental de Pindorama - APTA, Latossolo Vermelho eutroférico (LVe), proveniente da Fazenda Santa Elisa do Instituto Agrônomo de Campinas e um Latossolo vermelho distrófico (LVd), coletado no município de Sertãozinho, em área onde a aplicação de vinhaça vem ocorrendo há, pelo menos, 26 anos e onde foi observada saturação de potássio na CTC do solo maior que 5%.

A coleta das amostras de terra foi feita na camada de 0-20 cm de profundidade. Após a coleta, estas foram secas ao ar e peneiradas em peneira com abertura de malha de dois milímetros. A granulometria e os atributos de fertilidade das amostras são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Granulometria, atributos de fertilidade e porcentagem de potássio na CTC das amostras de terra utilizadas nos ensaios.

Característica	Solo	Solo	Solo Argiloso
	Arenoso (Arg)	Argiloso (LVe)	Saturado com K (LVd)
pH	6,2	5,0	5,6
Matéria Orgânica (g dm ⁻³)	15	50	45
P resina (mg dm ⁻³)	25	5	56
Potássio (mmol _c dm ⁻³)	2,3	1,2	10,2
Ca (mmol _c dm ⁻³)	26	35	38
Mg (mmol _c dm ⁻³)	12	12	26
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	13	38	29
S.B. (mmol _c dm ⁻³)	41	48	74
CTC (mmol _c dm ⁻³)	54	86	102
Argila (g kg ⁻¹)	126	545	495
Silte (g kg ⁻¹)	64	208	364
Areia (g kg ⁻¹)	852	247	141
% de K na CTC	4,3	1,4	10,0
C.E. (dS m ⁻¹)	0,12	0,34	0,42

3.2 Amostras de Vinhaça Utilizadas

Foram utilizadas duas amostras de vinhaça, sendo uma proveniente da fermentação e destilação do mosto misto (VMM) e que representa a condição usual do subproduto e outra denominada vinhaça concentrada (VC), que representa a condição da vinhaça submetida a um processo de eliminação de água pelo calor com a finalidade de tornar o transporte mais econômico, e que representa o subproduto com menor teor de água e, portanto, maior concentração de sais. A caracterização das vinhaças utilizadas é apresentada na Tabela 3. A caracterização das amostras de vinhaças utilizadas foi feita de acordo com metodologia proposta por CETESB (1999).

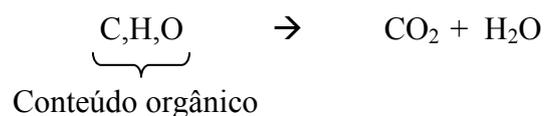
Tabela 3 - Caracterização das vinhaças utilizadas ⁽¹⁾.

Vinhaças	pH	Umidade	C	N	K
		%		g L ⁻¹	
VMM	4,4	97,2	8	0,8	1,9
VC	4,4	72,2	121	5,4	20,5

⁽¹⁾ Resultados expressos no material original.

3.3 Avaliação da Degradabilidade do Conteúdo Orgânico das Vinhaças

A biodegradação do conteúdo orgânico presente nos dois diferentes tipos de vinhaça foi avaliada pelo método de incubação descrito em COSCIONE & ANDRADE (1999). Esse método se baseia na incubação, em frascos respirômetros, de quantidades conhecidas de solo e resíduo. A reação que ocorre pode ser representada por:



Em seguida o CO₂ formado é recebido por solução de volume e concentração conhecida de NaOH que é colocada num frasco dentro do frasco respirômetro. A reação que ocorre é:



Em seguida determina-se a quantidade de NaOH que sobrou da reação com o CO₂ por condutivimetria de acordo com método proposto por RODELLA & SABÓIA (1999), calculando-se a quantidade de CO₂ que se formou e que foi originada das reações de degradação do conteúdo orgânico do resíduo.

Os tratamentos, aplicados a 500 g de terra do ensaio colocados em frascos respirômetros, foram: vinhaça mosto misto (VMM), vinhaça concentrada (VC) e testemunha. As quantidades de vinhaça adicionadas aos frascos foram equivalentes a uma aplicação de 200 kg ha⁻¹ de K₂O (ou 166 kg ha⁻¹ de K) no caso da aplicação de VMM e 500 kg ha⁻¹ de K₂O (ou 410 kg ha⁻¹ de K) para a VC. Foi também conduzido

um tratamento utilizando glicose (G), adicionada ao solo em quantidade correspondente a 800 mg de carbono, como controle para o ensaio de incubação.

As quantidades de vinhaça mosto misto e vinhaça concentrada utilizadas nos tratamentos assim como as quantidades de carbono orgânico, nitrogênio e potássio adicionadas através das vinhaças podem ser verificadas na Tabela 4. Assim sendo, na dose aplicada, a vinhaça mosto misto, além de adicionar 166 mg vaso⁻¹ de K, também promoveu o acréscimo de 772 mg de C e 72 mg de N aos solos em cada aplicação. A dose de vinhaça concentrada utilizada promoveu a adição de 410 mg vaso⁻¹ de K, 2.549 mg de C e 113 mg de N por frasco em cada aplicação da VC.

Tabela 4 - Teor de carbono, nitrogênio e potássio adicionados em função das doses das vinhaças aplicadas aos frascos respirômetros.

Vinhaças	Doses	C	N	K
	(mL/frasco)			
VMM	90	772	72	166
VC	20	2549	113	410

VMM – Vinhaça Mosto Misto; VC – Vinhaça Concentrada.

Os tratamentos foram instalados com três repetições totalizando 36 frascos de incubação, mantidos, durante todo o período de duração, em temperatura de $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$ (ABNT, 1999), com 70% da capacidade de retenção de água e no escuro. A CRA foi mantida avaliando a massa dos frascos, ou seja, pesando-se o frasco com a amostra de terra e a quantidade de água adicionada.

A aplicação das vinhaças foi repetida por mais duas vezes totalizando três aplicações ao solo contido nos frascos respirômetros. Antes de cada nova aplicação as amostras de terra contidas nos frascos de incubação foram colocadas para secar, destorroadas, peneiradas e recolocadas nos frascos. As demais aplicações de vinhaça foram feitas nas mesmas doses da primeira. O parâmetro utilizado para se interromper a biodegradação para a nova aplicação foi quando esta atingiu o valor de 70% para a degradação do tratamento controle constituído por glicose. A determinação da

quantidade de CO₂ emanada dos tratamentos foi feita por condutivimetria conforme descrito em RODELLA & SABÓIA (1999).

De posse das quantidades de CO₂ emanado foi subtraída a quantidade da CO₂ emanada devida ao solo testemunha, onde não foi feita a aplicação do resíduo. Maiores detalhes sobre esses cálculos podem ser verificados nos ANEXOS (2 .à 10).

Os parâmetros cinéticos, velocidade de degradação e meia vida dos subprodutos nos solos foram obtidos através do ajuste de dados pela equação de cinética química de primeira ordem:

$$C_d = C_o(1 - e^{-kt}), \text{ onde:}$$

C_d corresponde ao carbono degradado no tempo t expresso em mg CO₂ vaso⁻¹

C_m , carbono potencialmente degradável do resíduo, na dose considerada, em mg CO₂ vaso⁻¹;

k , a constante de velocidade da reação de degradação do carbono, em dias⁻¹;

t , o tempo, em dias.

A meia-vida, correspondente ao tempo necessário para que ocorra a degradação de metade do carbono potencialmente degradável (C_d) do total de carbono adicionado foi obtido pela expressão:

$$T_{1/2} = \ln 2/k$$

A porcentagem (fração) de degradação foi calculada no final do período de incubação por meio da equação:

$$FD = 100 C_d/C_o, \text{ onde:}$$

FD, fração de degradação do carbono adicionado através das doses de VMM, VC e glicose em porcentagem (%).

Ao final do ensaio de incubação, o solo contido nos frascos respirômetros foi amostrado e feita a determinação dos parâmetros de fertilidade do solo de acordo com

metodologia descrita em RAIJ et al. (2001); condutividade elétrica, na proporção solo:água 1:1, e condutivímetro com célula de 1 cm de diâmetro (RAIJ et al., 2001).

Os parâmetros de fertilidade analisados foram pH, matéria orgânica, fósforo (resina), potássio, cálcio, magnésio, acidez trocável, e o cálculo da soma de bases e da capacidade de troca catiônica calculados. Também foi feita a determinação do nitrogênio total nas amostras de terra de acordo com metodologia de ALCARDE & CHITOLINA (1989).

3.4 Determinação da Taxa de Mineralização do Nitrogênio (TMN) das Vinhaças

O ensaio para determinação da taxa de mineralização do nitrogênio contido nos dois tipos de vinhaças foi avaliado pelo método recomendado pela CETESB (1999), sem lixiviação. A quantidade de água adicionada aos frascos dos tratamentos foi feita descontando-se do total a ser adicionado a água fornecida pelas vinhaças. O cálculo das doses de vinhaças aplicadas neste ensaio foi feito tendo em vista a mesma base de cálculo adotado no ensaio de degradabilidade do conteúdo orgânico, porém considerando a profundidade de terra nos frascos, de 2 cm, e a capacidade de retenção de água de cada solo.

As doses de vinhaça mosto misto aplicadas, correspondentes a 70% da capacidade de retenção de água do solo, foram de: 28 mL, 36 mL e 34 mL, respectivamente, o que corresponde a uma adição de 224 mg kg⁻¹ de N no solo arenoso, 288 mg kg⁻¹ de N no solo argiloso e 272 mg kg⁻¹ de N no solo argiloso saturado com potássio.

As doses de vinhaça concentrada aplicadas foram, respectivamente, 6,4 mL, 8,2 mL e 7,7 mL no solo arenoso, argiloso e argiloso saturado com potássio, o que correspondeu a uma adição de 346 mg kg⁻¹ de N no solo arenoso, 443 mg kg⁻¹ de N no solo argiloso e 416 mg kg⁻¹ de N no solo argiloso saturado com potássio.

Após a instalação do experimento, dia 0 (zero) e aos 7, 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 112, 126 dias de incubação, dois frascos correspondentes a cada tratamento foram utilizados para as análises de N inorgânico, fazendo-se a extração com solução de 2 mol L⁻¹ de KCl, seguindo-se a destilação a vapor do N com MgO e liga de Devarda e recebimento do N destilado em solução 2% de H₃BO₃ conforme metodologia descrita por BREMNER & KEENEY (1965) e citada em MULVANEY (1996). A titulação da solução de H₃BO₃ foi efetuada com solução padronizada de H₂SO₄. Em outra porção da

amostra de terra, determinou-se a umidade para fazer a conversão de N inorgânico presente no solo úmido em N inorgânico presente no solo seco.

Os resultados de N-inorgânico de cada tratamento foram ajustados à equação exponencial de cinética química de primeira ordem, por meio do modelo proposto por STANFORD & SMITH (1972):

$$N_m = N_0 (1 - e^{-kt}); \text{ em que:}$$

N_m é o N mineralizado no tempo t ;

N_0 é o N adicionado ao solo nos tratamentos;

k é a constante de velocidade da reação de mineralização do N.

A taxa de mineralização do N foi calculada em função dos resultados de N-inorgânico aos 126 dias de incubação, descontando-se o inicial (tempo zero) e o controle (sem vinhaça).

3.5 Método de Neubauer

A instalação do ensaio tipo Neubauer foi feita com as modificações propostas por CATANI & BERGAMIM (1961), utilizando arroz, *Oryza sativa*, como planta teste para se avaliar as quantidades de potássio removidas dos diferentes solos em função dos tratamentos utilizados e também para se avaliar o desenvolvimento das plantas em função da condutividade elétrica observada nos tratamentos com vinhaça. A instalação do ensaio foi feita conforme o descrito a seguir:

Foram misturados 20 g do solo proveniente dos tratamentos do ensaio de biodegradação com 40 g de areia lavada, em placas de Petri de 100 mm de diâmetro por 15 mm de altura. Sobre a mistura foram espalhadas mais 20 g de areia e plantadas 25 sementes de arroz da variedade IAC 202, que em seguida foram cobertas com 10 g areia. Cada placa recebeu 16 g de água. O ensaio em branco foi preparado plantando-se 25 sementes em 60 g de areia, cobrindo-se as sementes com mais 10 de areia, e molhando com 12 g de água. O teste de Neubauer teve a duração de 15 dias. Após 15 dias o material vegetal (parte aérea e raízes) foi colhido assim como foram recolhidas as sementes não germinadas. Todo o material vegetal foi lavado com água corrente, água destilada e colocado para secar em estufa de circulação forçada regulada para 45°C. Após a secagem foi determinado o peso seco do material vegetal.

O preparo do extrato para a determinação da quantidade removida de potássio do solo foi feita por meio da incineração de todo o material vegetal a 550°C e solubilização das cinzas com HCl segundo descrito em BATAGLIA et al. (1983). A determinação de potássio no extrato foi feita por fotometria de chama.

As sementes de arroz foram submetidas a um teste de germinação. Para avaliar a porcentagem de germinação, foram utilizadas três placas de petri com papel de filtro umedecido e 100 sementes de arroz. As sementes foram molhadas, diariamente, por sete dias e, após esse período, as sementes germinadas foram contadas.

O tratamento estatístico utilizado para os dados do ensaio tipo Neubauer foi o inteiramente casualizado (Tukey 5%).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Degradabilidade do Conteúdo Orgânico das Vinhaças

Os resultados obtidos na avaliação da degradabilidade do conteúdo orgânico das vinhaças para cada um dos solos e em cada uma das aplicações estão apresentados em ANEXO. A partir desses dados foram construídas as curvas de degradação relacionando tempo e CO₂ emanado acumulado para cada um dos tratamentos. Nas Figuras 2, 3 e 4 são apresentadas as curvas referentes a primeira aplicação das vinhaças nos solos arenoso, argiloso e argiloso saturado com potássio, respectivamente. Nas Figuras 5, 6 e 7 podem ser observadas as curvas referentes a segunda aplicação e nas Figuras 8, 9 e 10 as curvas referentes a terceira aplicação das vinhaças nos solos arenoso, argiloso e argiloso saturado com potássio, respectivamente.

Pelo exame das Figuras 2 a 10, observa-se que a curva de degradação da glicose (G) e da vinhaça mosto misto (VMM) foram similares nos três solos utilizados, chegando em algumas situações a se sobrepor o que indica que a degradação dos compostos orgânicos presentes nesse tipo de vinhaça corresponde ao verificado para a glicose. Para a vinhaça concentrada observa-se que a curva apresenta a mesma tendência que a observada para a VMM diferindo apenas na quantidade de carbono emanado. Como a VC tinha originalmente teor de carbono cerca de três vezes superior ao da VMM e as perdas de CO₂ foram também cerca de três vezes superiores.

MINHONI & CERRI (1987), avaliaram a decomposição de vinhaça sob diferentes níveis de umidade, 40, 60 e 80% da capacidade de retenção de água do solo. Através dos resultados obtidos, observou-se que para os três níveis de umidade do solo,

houve maior liberação de carbono na fase inicial de incubação, seguida de quedas gradativas e, finalmente, uma estabilização. A umidade do solo condicionou significativamente a evolução do carbono, de tal modo que foi maior para as parcelas mais secas (40% C.R.A.). No entanto, apesar das diferenças iniciais nas taxas diárias médias de liberação de carbono, ao final do período de incubação, a quantidade total de carbono liberado foi semelhante para os três tratamentos, independente da umidade do solo. Convém salientar que nesse estudo o tempo de incubação foi de 105 dias e a quantidade de solo de 40g. No presente trabalho, a umidade foi mantida constante (70% da C.R.A.), porém a evolução da liberação do carbono teve comportamento semelhante à do estudo acima citado, visto que na fase inicial das incubações houve maior liberação de CO₂ e ao final das mesmas verificou-se uma estabilização do CO₂ emanado. Essa maior liberação de CO₂ na fase inicial, seguida pela estabilização ao final das incubações pode ser observada nas Figuras 2 a 10.

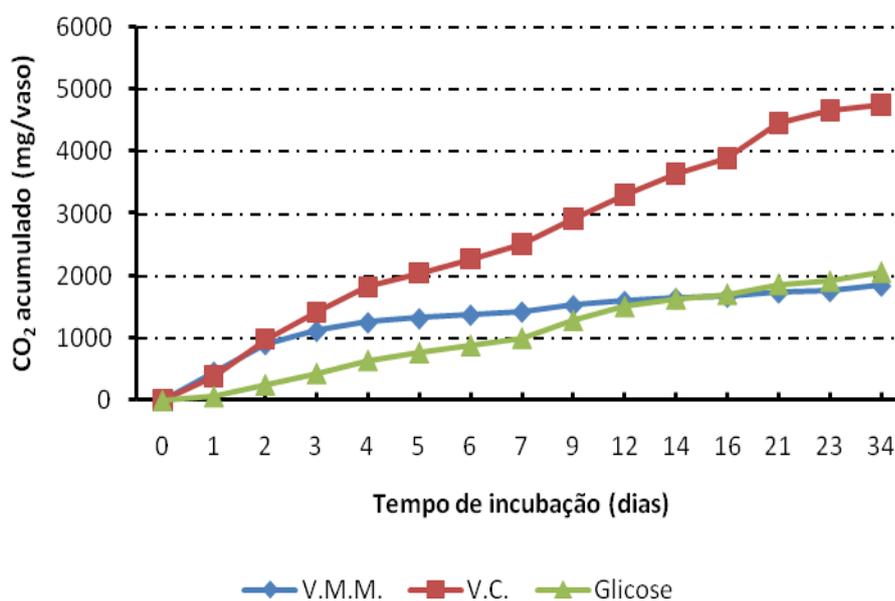


Figura 2 - CO₂ acumulado emanado no solo arenoso incubado com vinhaça mosto misto (VMM), vinhaça concentrada (VC) e glicose (G) após primeira aplicação.

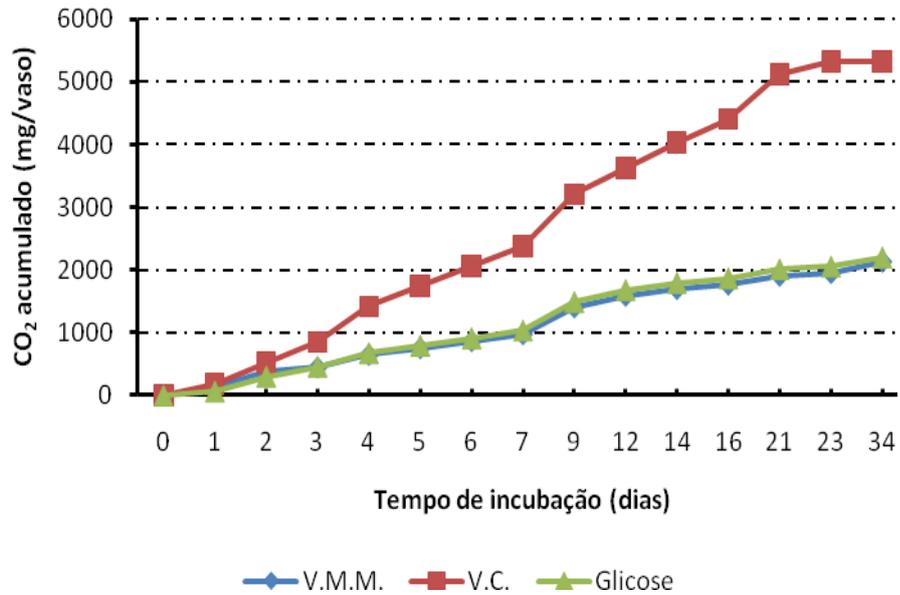


Figura 3 - CO₂ acumulado emanado no solo argiloso incubado com vinhaça mosto misto (VMM), vinhaça concentrada (VC) e glicose (G) após primeira aplicação.

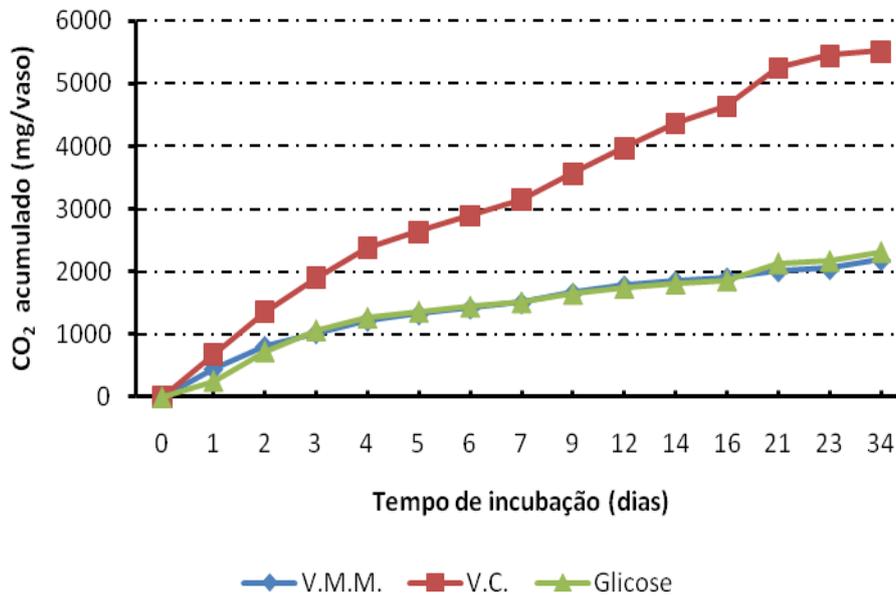


Figura 4 - CO₂ acumulado emanado no solo argiloso saturado com potássio incubado com vinhaça mosto misto (VMM), vinhaça concentrada (VC) e glicose (G) após primeira aplicação.

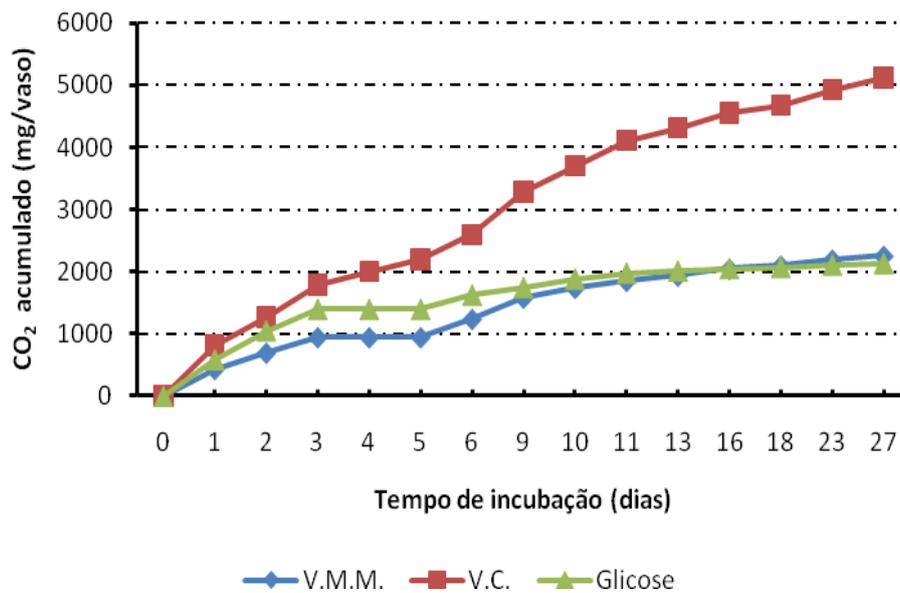


Figura 5 - CO₂ acumulado emanado no solo arenoso incubado com vinhaça mosto misto (VMM), vinhaça concentrada (VC) e glicose (G) após segunda aplicação.

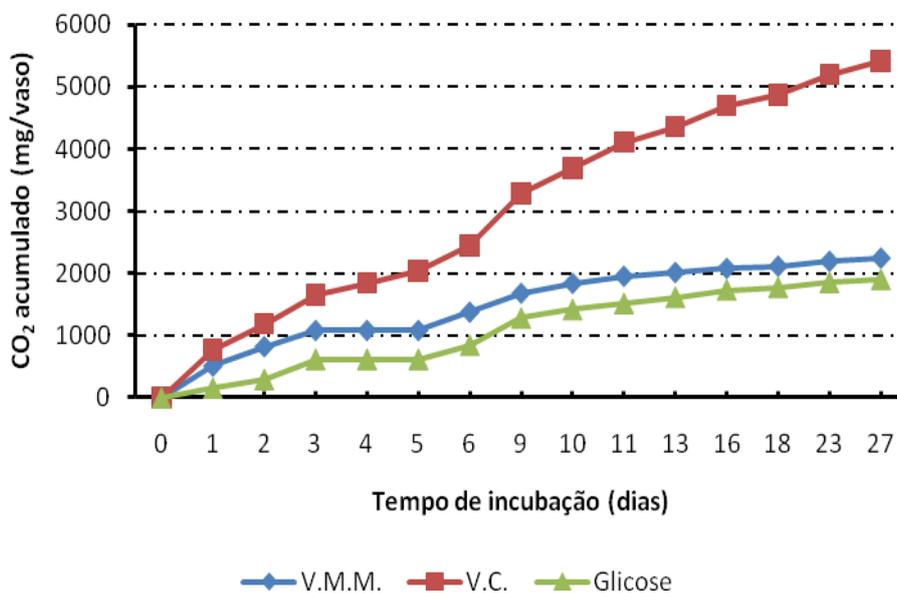


Figura 6 - CO₂ acumulado emanado no solo argiloso incubado com vinhaça mosto misto (VMM), vinhaça concentrada (VC) e glicose (G) após segunda aplicação.

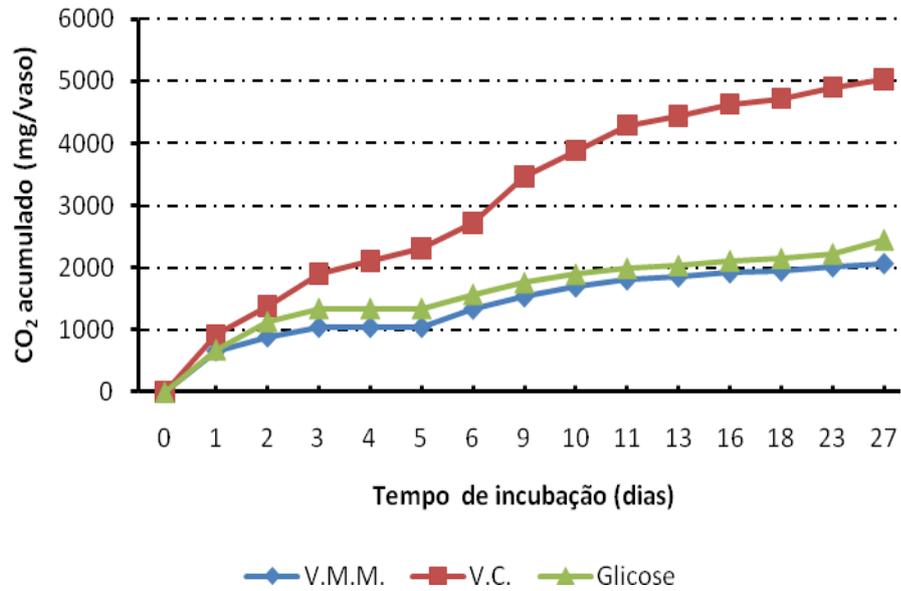


Figura 7 - CO₂ acumulado emanado no solo argiloso saturado com potássio incubado com vinhaça mosto misto (VMM), vinhaça concentrada (VC) e glicose (G) após segunda aplicação.

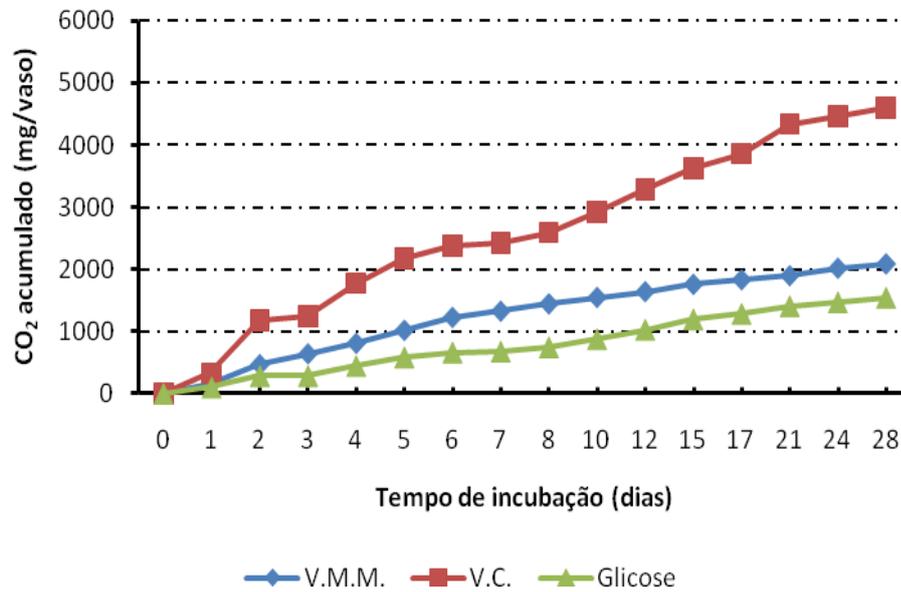


Figura 8 - CO₂ acumulado emanado no solo arenoso incubado com vinhaça mosto misto (VMM), vinhaça concentrada (VC) e glicose (G) após terceira aplicação.

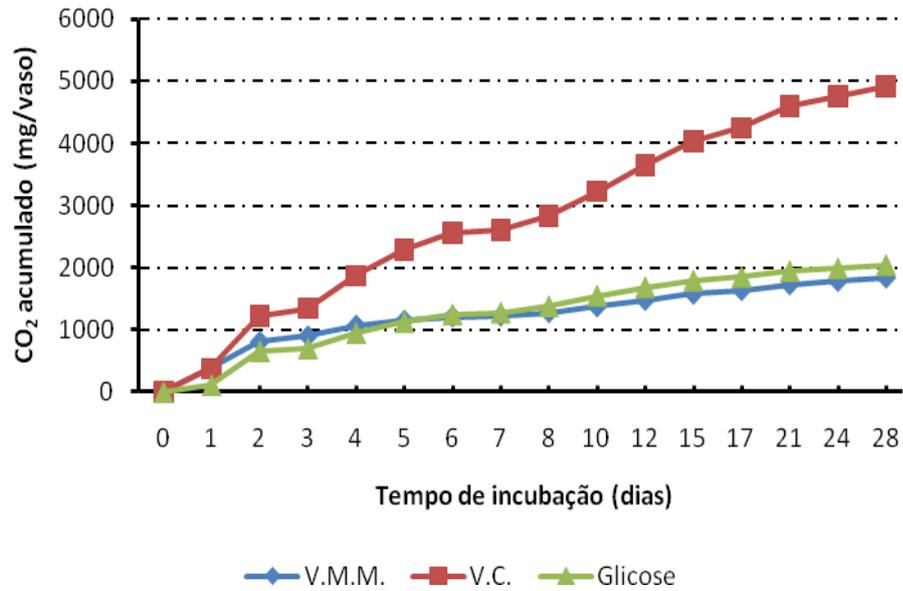


Figura 9 - CO₂ acumulado emanado no solo argiloso incubado com vinhaça mosto misto (VMM), vinhaça concentrada (VC) e glicose (G) após terceira aplicação.

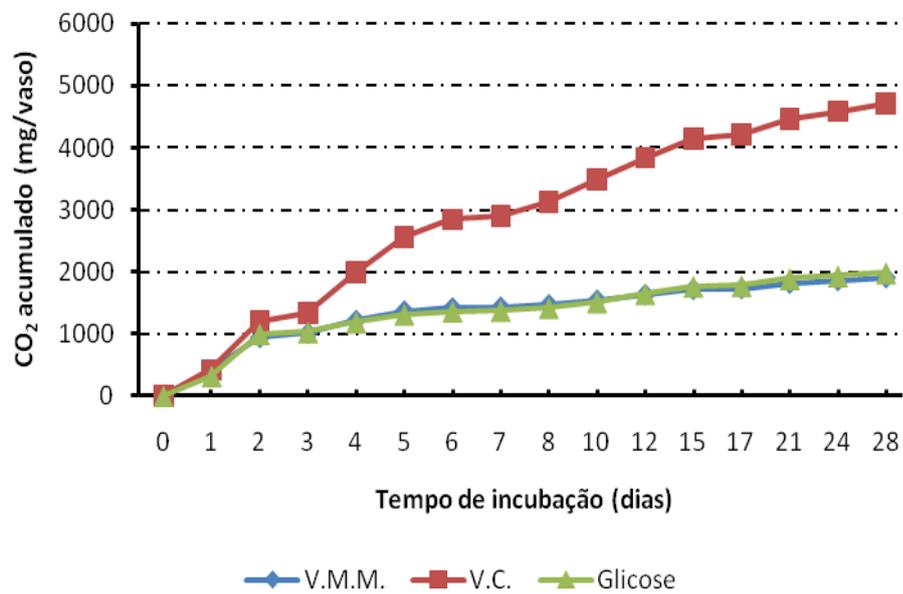


Figura 10 - CO₂ acumulado emanado no solo argiloso saturado com potássio incubado com vinhaça mosto misto (VMM), vinhaça concentrada (VC) e glicose (G) após terceira aplicação.

Colocando-se os dados obtidos no ensaio de degradação no modelo de cinética química de primeira ordem observa-se o perfeito ajuste do modelo utilizado aos resultados obtidos no experimento (coeficiente de correlação $r \geq 0,98$). Os resultados obtidos para o coeficiente de correlação, velocidade da reação de degradação do conteúdo orgânico (K) e C_m são apresentados nas Tabelas 5, 6 e 7.

Tabela 5 - Valores do coeficiente de correlação (r), constante de velocidade da reação de degradação (K_m), carbono potencialmente mineralizável (C_m), porcentagem de degradação e meia vida obtidos no ensaio de biodegradação – Primeira aplicação de vinhaça

Tratamentos	r	C_m (mg/frasco)	K_m (dia⁻¹)	% degradação (34 dias)	½ vida (dias)
Solo Arenoso					
VMM	0,99	1696,77	0,317	60,0	2
VC	0,99	4820,24	0,109	51,6	6
Glicose	0,99	2220,36	0,088	75,7	8
Solo Argiloso					
VMM	0,99	2275,85	0,089	80,4	8
VC	0,99	6300,04	0,071	67,4	10
Glicose	0,99	2364,96	0,093	80,6	7
Solo Saturado com K					
VMM	0,99	2021,79	0,213	71,4	3
VC	0,99	5570,69	0,121	59,6	6
Glicose	0,98	2100,21	0,192	71,6	4

Tabela 6 - Valores do coeficiente de correlação (r), constante de velocidade da reação de degradação (K_m), carbono potencialmente mineralizável (C_m), porcentagem de degradação e meia vida obtidos no ensaio de biodegradação – Segunda aplicação de vinhaça

Tratamentos	r	C_m (mg/frasco)	K_m (dia ⁻¹)	% degradação (27 dias)	½ vida (dias)
Solo Arenoso					
VMM	0,99	2243,66	0,153	79,3	5
VC	0,99	5322,21	0,119	56,9	6
Glicose	0,99	2026,38	0,333	69,1	2
Solo Argiloso					
VMM.	0,99	2178,25	0,196	77,0	4
VC	0,99	5867,833	0,0987	62,8	7
Glicose	0,99	2054,3216	0,109	70,0	7
Solo Saturado com K					
VMM.	0,98	1954,26	0,2374	69,0	3
VC	0,99	5191,51	0,136	55,5	5
Glicose	0,98	2142,75	0,291	73,0	2

Tabela 7 - Valores do coeficiente de correlação (r), constante de velocidade da reação de degradação (K_m), carbono potencialmente mineralizável (C_m), porcentagem de degradação e meia vida obtidos no ensaio de biodegradação – Terceira aplicação de vinhaça

Tratamentos	r	C_m (mg/frasco)	K_m (dia ⁻¹)	% degradação (28 dias)	½ vida (dias)
Solo Arenoso					
VMM	0,99	2084,52	0,135	73,7	5
VC	0,99	4878,11	0,096	52,2	7
Glicose	0,99	1796,38	0,071	61,2	10
Solo Argiloso					
VMM	0,98	1688,04	0,220	59,6	3
VC	0,99	5100,26	0,107	54,6	6
Glicose	0,99	2035,82	0,149	69,4	5
Solo Saturado com K					
VMM	0,98	1772,36	0,280	62,6	2
VC	0,98	4767,66	0,127	51,0	5
Glicose	0,98	1834,04	0,240	62,5	3

Por definição, meia vida é o tempo necessário para que ocorra a degradação de metade do carbono que foi adicionado na incubação (C_0). A meia vida da vinhaça de

mosto misto variou de 2 a 8 dias em função do solo do tratamento e do número da aplicação feita (Tabelas 5, 6 e 7). No solo argiloso saturado com K, não se observou aumento no valor da meia vida com o prosseguir das aplicações de vinhaça. Para a vinhaça concentrada o valor da meia vida esteve entre 5 e 10 dias e, também para o solo saturado com K, não se observa nenhuma variação nesse valor com a repetição da aplicação de vinhaça. Apenas como comparação verifica-se que a meia vida da glicose variou entre 2 a 10 dias.

A taxa ou fração de degradação do C-orgânico ao término de cada período de incubação também pode ser observada nas Tabelas 5, 6 e 7 e evidencia o comportamento semelhante da vinhaça mosto misto e glicose (tratamento controle), o que indica que os compostos orgânicos presentes na vinhaça de mosto misto se degradam no solo de forma semelhante à observada para a glicose conforme já verificado pelo comportamento das curvas de degradação. Embora não existam resultados relatados na literatura para a VC, verifica-se que para a VMM, os resultados de literatura são concordantes a exemplo de CALDEIRA (1997), que afirma que a vinhaça apresenta alta proporção de seus constituintes orgânicos na forma solúvel, como glicerol e ácidos orgânicos, compostos esses de imediata degradação no solo, o que permite uma boa degradação quando adicionadas aos solos.

A taxa de degradação do conteúdo orgânico (Tabelas 5, 6 e 7), nas três aplicações realizadas, apresentou um valor entre 60% e 79,3% para a VMM no solo arenoso, entre 59,3% e 80,4% no solo argiloso, e entre 62,6 e 71,4% no solo argiloso saturado com K. Os resultados obtidos permitem afirmar que a taxa de degradação considerando as três aplicações realizadas nos três diferentes solos apresentou um valor médio de 61,4%. Para a VC a taxa de degradação média observada foi de 56,8%, inferior, portanto a observada para a VMM, enquanto que para a glicose a taxa de degradação média foi de 70,5%.

Pelo exame das Tabelas 5, 6 e 7 também se pode verificar que, com as sucessivas aplicações de vinhaça, a degradabilidade e a meia vida mantiveram os valores observados com a primeira aplicação o que indica que, apesar do aumento na concentração de sais do meio causada pelas aplicações sucessivas, esse aumento não afetou a taxa de degradação do conteúdo orgânico da vinhaça. Tendo em vista essa constatação, obtida num ensaio sem lixiviação, pode-se inferir que em condições de

campo aplicações sucessivas de vinhaça num mesmo local, provavelmente não provocariam redução da degradabilidade do conteúdo orgânico de vinhaças.

Nos ANEXOS, também são apresentados os valores para a taxa de degradação do carbono orgânico calculada sem o ajuste proporcionado pelo modelo de cinética química de primeira ordem. Comparando-se aqueles resultados com os apresentados nas Tabelas 5, 6 e 7, verifica-se que quando o coeficiente de correlação dos dados é maior que 0,98, é indiferente se calcular a taxa de degradação com ou sem o ajuste proporcionado pelo modelo.

Os atributos de fertilidade do solo e o teor de N total ao final do ensaio de degradação do carbono orgânico são apresentados nas Tabelas 8, 9 e 10 para o solo arenoso, argiloso e argiloso saturado com potássio, respectivamente.

Tabela 8 - Caracterização química do solo arenoso ao final do ensaio de biodegradação.

Característica	Solo Arenoso		
	Testemunha	VMM	VC
pH	6,4	7,0	7,6
Matéria Orgânica (g dm ⁻³)	14	15	18
P resina (mg dm ⁻³)	25	39	76
Potássio (mmol _c dm ⁻³)	2,3	30,7	86,3
Ca (mmol _c dm ⁻³)	26	33	44
Mg (mmol _c dm ⁻³)	12	26	46
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	13	9	6
S.B. (mmol _c dm ⁻³)	41	90	176
CTC (mmol _c dm ⁻³)	54	99	183
N total (mg kg ⁻¹)	468	648	736

Tabela 9 - Caracterização química do solo argiloso ao final do ensaio de biodegradação.

Característica	Solo Argiloso		
	Testemunha	VMM	VC
pH	5,1	5,5	6,2
Matéria Orgânica (g dm ⁻³)	39	40	46
P resina (mg dm ⁻³)	5	5	15
Potássio (mmol _c dm ⁻³)	1,2	29,0	87,1
Ca (mmol _c dm ⁻³)	35	47	57
Mg (mmol _c dm ⁻³)	12	27	40
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	38	27	16
S.B. (mmol _c dm ⁻³)	48	103	184
CTC (mmol _c dm ⁻³)	86	130	200
N total (mg kg ⁻¹)	1814	2033	2094

Tabela 10 - Caracterização química do solo argiloso saturado com potássio ao final do ensaio de biodegradação.

Característica	Solo Argiloso Saturado com K		
	Testemunha	VMM	VC
pH	5,6	6,2	6,9
Matéria Orgânica (g dm ⁻³)	43	43	45
P resina (mg dm ⁻³)	56	45	62
Potássio (mmol _c dm ⁻³)	10,2	40,5	124,7
Ca (mmol _c dm ⁻³)	38	43	54
Mg (mmol _c dm ⁻³)	26	37	55
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	29	22	14
S.B. (mmol _c dm ⁻³)	74	107	234
CTC (mmol _c dm ⁻³)	102	129	248
N total (mg kg ⁻¹)	1540	1855	1928

Pelo exame das Tabelas 8 a 10 verifica-se o aumento do pH em todos os solos utilizados no experimento. O pH aumentou em função das adições sucessivas de vinhaça e esse aumento é atribuído às reações de degradação do conteúdo orgânico (MATTIAZZO & GLORIA, 1991). Valores de pH mais elevados foram verificados no solo arenoso provavelmente por esse solo possuir menor poder tampão.

Os tratamentos com VC evidenciaram maiores aumentos de pH em todos os solos utilizados no experimento.

Analisando-se a constituição da vinhaça, nota-se que, independente do seu tipo, predomina, na fração sólida desse subproduto, a matéria orgânica (GLORIA & ORLANDO FILHO, 1983). O teor de matéria orgânica (M.O.) presente nos solos, ao final do ensaio de biodegradação pode ser observado nas tabelas 8, 9 e 10. Em todos os solos, o maior teor de matéria orgânica foi observado nos tratamentos com vinhaça concentrada. Esta vinhaça possui menor umidade e, conseqüentemente, maior teor de matéria orgânica na fração sólida quando comparada à vinhaça mosto misto (97,2% de água). A maior quantidade de M.O. contribuiu para elevar os teores nos solos que receberam VC. No entanto, o acréscimo de M.O. foi relativamente pequeno, visto que as vinhaças adicionadas sofreram degradação ao longo da incubação.

Materiais orgânicos como a vinhaça, que não contém componentes alcalinos inorgânicos e cujo carbono é de fácil decomposição no solo, afetam a acidez deste pelo estímulo à atividade microbiana que promovem. A redução dos teores de alumínio trocável do solo em função da incubação de materiais orgânicos é mais influenciada pelo aumento de pH que pelo processo de complexação do alumínio do solo (REIS, 1998). A redução dos teores de alumínio trocável nos solos incubados com vinhaça mosto misto e vinhaça concentrada podem ser verificadas nas Tabelas 8, 9 e 10. No entanto, a acidez trocável foi mais influenciada nos solos incubados com vinhaça concentrada, à medida que, a VC possui maior teor de materiais orgânicos e houve maior elevação do pH nestes tratamentos.

Verificou-se aumento no teor de nitrogênio total nos três solos utilizados em função dos tratamentos com vinhaça. O nitrogênio adicionado pelas vinhaças permaneceu no solo. A quantidade total adicionada de N, após as três aplicações de VMM e VC foi correspondente a 200 kg ha⁻¹ e 325 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

Como a capacidade de troca catiônica é calculada através da soma dos cátions presentes nos solos, o aumento do teor do K nos tratamentos contribuiu para o aumento

da CTC. Dessa forma, os tratamentos com VC que apresentaram maiores teores de K nos solos, tiveram aumento na CTC proporcional ao potássio adicionado.

A partir dos valores do teor de K e da CTC, foi calculada a porcentagem de potássio existente na CTC sendo os maiores valores observados nos tratamentos com VC (Tabela 11). Verificou-se que o solo arenoso, o qual nunca foi fertilizado com vinhaça, apresentava 4,3 % de K na CTC enquanto o solo argiloso saturado, que recebia aplicações de vinhaça há pelo menos 26 anos, era 10%. Ao final da incubação com VMM os valores calculados da % de K na CTC foram semelhantes para esses dois solos e, dessa maneira, pode-se dizer que o acúmulo de K no solo arenoso ocorreu de forma mais pronunciada do que no solo argiloso inicialmente saturado com potássio. Entretanto, a utilização do valor da CTC calculada pela somatória de cátions presentes no solo torna esse parâmetro inadequado para determinação da taxa de aplicação do subproduto tendo em vista que qualquer aumento na concentração de cátions no solo provoca aumento no valor da CTC do solo o que não pode ser utilizado como sinônimo da capacidade de troca efetiva de cátions do solo.

Tabela 11 - Porcentagem de K na CTC dos solos após incubação com vinhaça mosto misto e vinhaça concentrada.

Tratamentos	Solo Arenoso	Solo Argiloso	Solo Argiloso Saturado com K
	% de K na CTC		
Testemunha	4,3	1,4	10
Vinhaça Mosto Misto	31,1	22,3	31,4
Vinhaça Concentrada	47,3	43,5	50,2

A determinação da condutividade elétrica do solo proveniente dos frascos de incubação pode ser observada na Tabela 12. Observando-se essa Tabela verifica-se que a condutividade atingiu valores de até 3,15 dS m⁻¹. De acordo com SPARKS (1995) valores de condutividade elétrica superiores a 4,0 dS m⁻¹ podem limitar o crescimento das plantas. Mais uma vez, convém salientar, que esse valor não foi atingido apesar das aplicações sucessivas e da ausência de lixiviação no presente ensaio.

Tabela 12 - Condutividade elétrica (C.E.) dos solos após incubação com vinhaça mosto misto e vinhaça concentrada.

Tratamentos	Solo Arenoso	Solo Argiloso	Solo Argiloso Saturado com K
	C.E. (dS m ⁻¹)		
Testemunha	0,12	0,34	0,42
Vinhaça Mosto Misto	0,83	1,22	1,51
Vinhaça Concentrada	1,79	3,15	2,93

A condutividade elétrica foi influenciada significativamente, nos três solos utilizados em função das aplicações sucessivas das vinhaças. De maneira geral, verifica-se que as aplicações sucessivas de VMM e VC aumentaram a C.E. dos solos. CAMARGO et al. (1983), estudaram as características físicas e químicas de um solo que recebeu vinhaça por longo tempo. Os autores atribuíram a elevação da condutividade elétrica, em grande parte, ao aumento da concentração em potássio.

O aumento da concentração de K refletiu-se no aumento da capacidade de troca catiônica dos solos, tendo em vista que a CTC do solo é calculada pela soma dos cátions trocáveis do solo (Ca + K + Mg + H+Al).

Os efeitos da vinhaça no nível de salinidade dos solos que a receberam são bastante variáveis, em função do tipo de vinhaça utilizado, quantidade aplicada e periodicidade de aplicação (MAZZA, 1985).

4.2 Mineralização do Nitrogênio Presente nas Amostras de Vinhaça

As curvas de mineralização do nitrogênio orgânico das amostras das diferentes vinhaças nos solos são apresentadas nas Figuras 11, 12 e 13, respectivamente, para o solo arenoso, argiloso e argiloso saturado com potássio.

Pelo exame dessas Figuras, verifica-se a imobilização do nitrogênio (N) nos tratamentos com vinhaça mosto misto (VMM) até os 56 dias de incubação nos três solos utilizados o que pode ser explicado pela intensa degradação do conteúdo orgânico adicionado ao solo sendo que, para essa degradação a presença do N é necessária. Assim sendo, a velocidade de decomposição é continuamente relacionada com a relação C/N, de tal forma que, subprodutos com baixa relação C/N decompõem-se mais rapidamente que subprodutos com elevada relação C/N e, neste último caso, há

necessidade de alguma complementação para estimular a decomposição e/ou suprir as necessidades da planta (ALEXANDER, 1967).

As reações que conduzem a mineralização do nitrogênio presente na VMM só tiveram início a partir dos 56 dias de incubação. O nitrogênio contido na vinhaça concentrada permaneceu imobilizado nos sete primeiros dias de incubação, a partir do 14º dia, a mineralização do N foi crescente até o 112º dia estabilizando-se após esse período. O comportamento do nitrogênio presente nas amostras de vinhaças pode ser observado nas Figuras 11, 12 e 13.

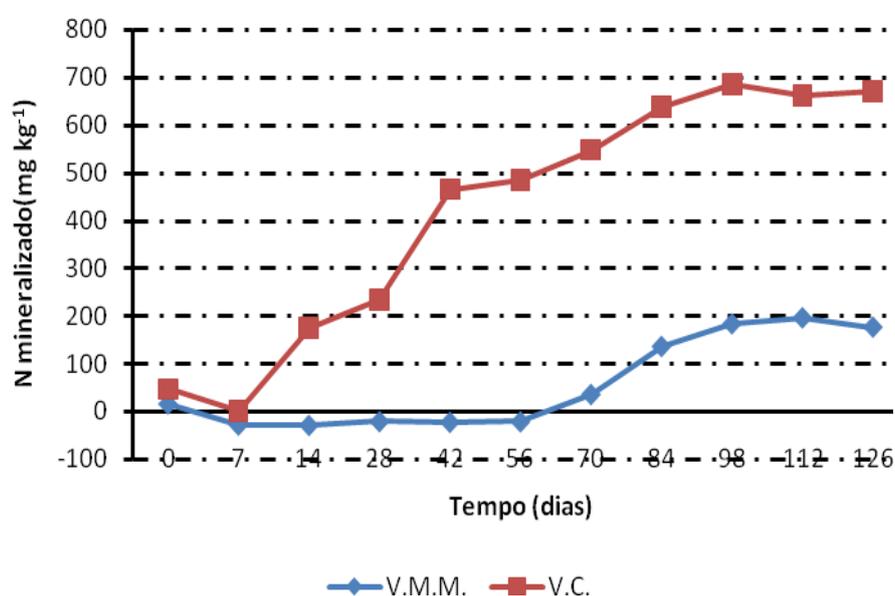


Figura 11 - Mineralização do nitrogênio presente na vinhaça mosto misto (VMM) e vinhaça concentrada (VC) no solo arenoso.

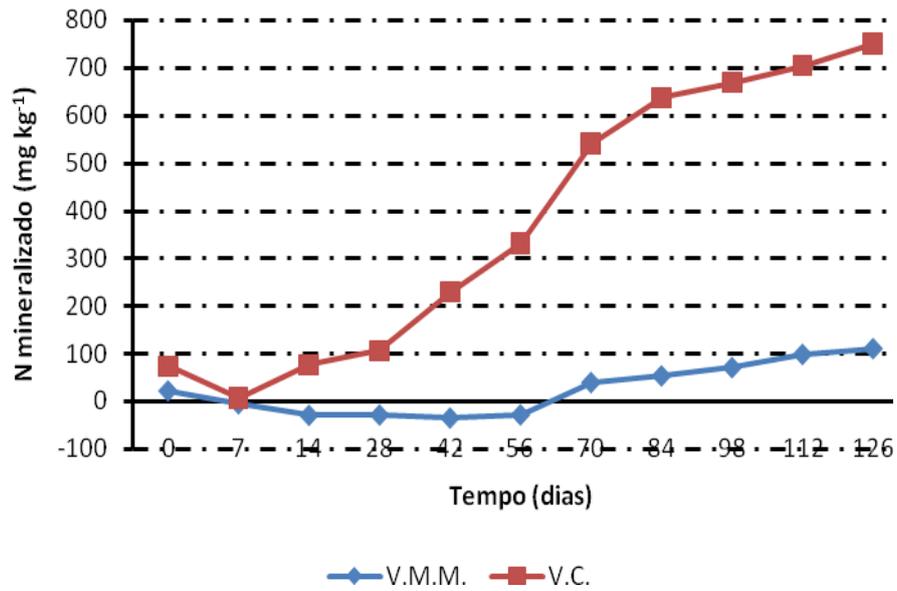


Figura 12 - Mineralização do nitrogênio presente na vinhaça mosto misto (VMM) e vinhaça concentrada (VC) no solo argiloso.

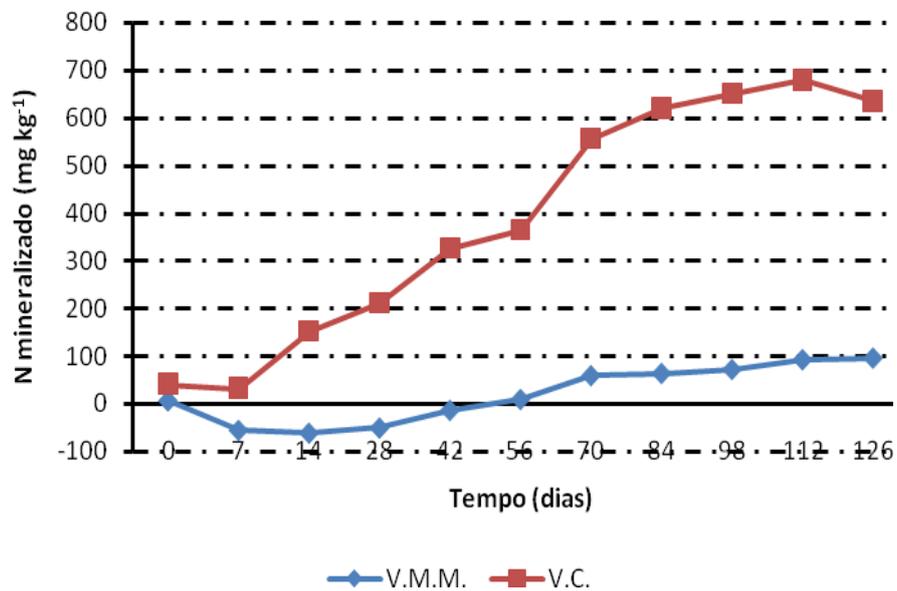


Figura 13 - Mineralização do nitrogênio presente na vinhaça mosto misto (VMM) e vinhaça concentrada (VC) no solo argiloso saturado com potássio.

A fração de mineralização do nitrogênio (Tabela 13) ao final dos 126 dias foi maior nos solos arenoso, argiloso e argiloso saturado com K, que receberam vinhaça mosto misto, 107%, 102% e 100%, respectivamente. Nos solos tratados com vinhaça concentrada, a fração de mineralização foi 95%. Os resultados obtidos evidenciam a rápida mineralização do nitrogênio que ocorre após os 56 dias de incubação.

Os dados obtidos para a mineralização do nitrogênio foram colocados no modelo de cinética de primeira ordem, entretanto a imobilização que aconteceu até os 56 dias de incubação, não permitiu o ajuste dos dados ao modelo de cinética, portanto não foram feitos os cálculos da constante de velocidade da reação de mineralização do N (constante-k), nitrogênio potencialmente mineralizável (N_m) e, conseqüentemente, não foi possível calcular a taxa ou fração de mineralização do N com os dados ajustados.

Tabela 13 - Taxa (fração) de mineralização do nitrogênio contido nas amostras de vinhaça.

Tratamento	N aplicado	N inorgânico extraído inicialmente	N extraído após 126 dias	N Mineralizado	N inorgânico total líquido	Fração de mineralização do N
	----- mg kg ⁻¹ -----					----- % -----
Solo arenoso						
Test.	0	11,5	119,4	107,9	0	-
VMM	224	34,1	380,5	346,4	238,5	106,5
VC	346	85,7	521,4	435,7	327,8	94,7
Solo argiloso						
Test.	0	42,5	150,4	107,9	0	-
VMM	288	57,8	460,0	402,2	294,3	102,2
VC	443	90,5	620,0	595,5	421,6	95,2
Solo argiloso saturado com K						
Test.	0	46,0	150,5	104,5	0	-
VMM	272	52,5	429,8	377,3	272,8	100,3
VC	416	87,9	584,6	496,7	392,2	94,3

4.3. Método Neubauer

Foi verificada a germinação de 98% das sementes de arroz utilizadas no ensaio o que indica que a germinação não foi afetada pela condutividade elétrica do solo. Aspectos da parte aérea e do sistema radicular das plantas nos tratamentos ao final do ensaio podem ser observados nas Figuras 14 a 19.

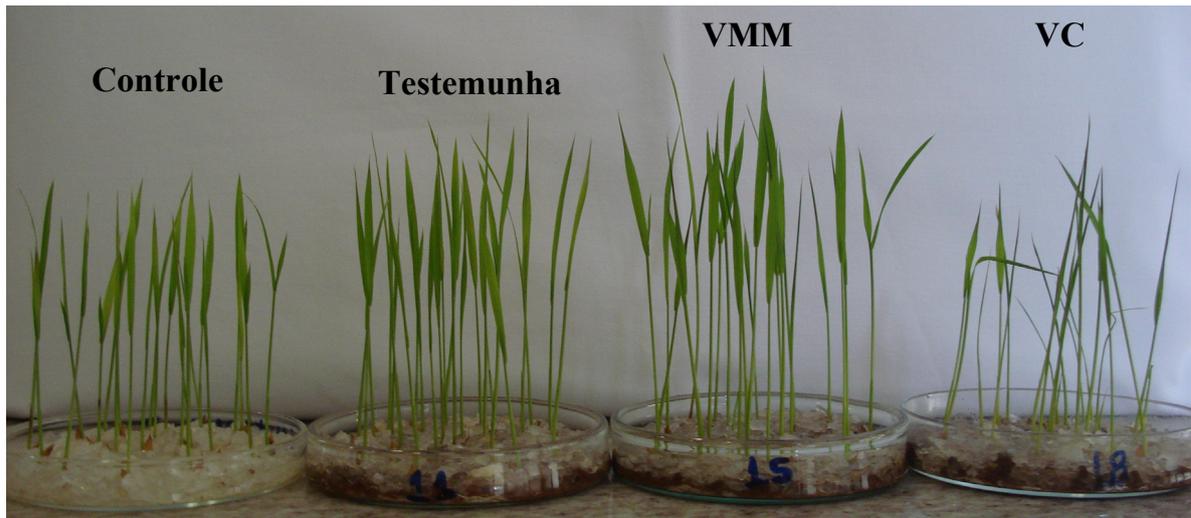


Figura 14 – Aspecto das plantas nos tratamentos controle, testemunha, vinhaça mosto misto e vinhaça concentrada no solo arenoso.



Figura 15 - Aspecto do sistema radicular nos tratamentos (controle, testemunha, vinhaça mosto misto e vinhaça concentrada) no solo arenoso.

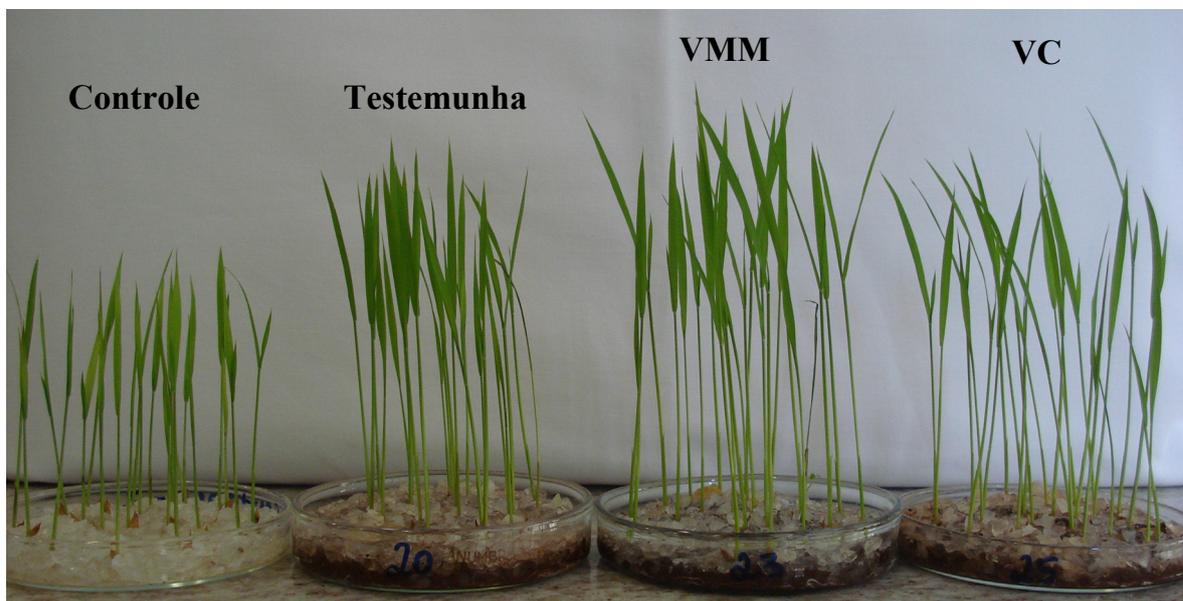


Figura 16 - Aspecto da parte aérea das plantas dos tratamentos controle, testemunha, vinhaça mosto misto e vinhaça concentrada no solo argiloso.



Figura 17 - Aspecto do sistema radicular nos tratamentos controle, testemunha, vinhaça mosto misto e vinhaça concentrada no solo argiloso.

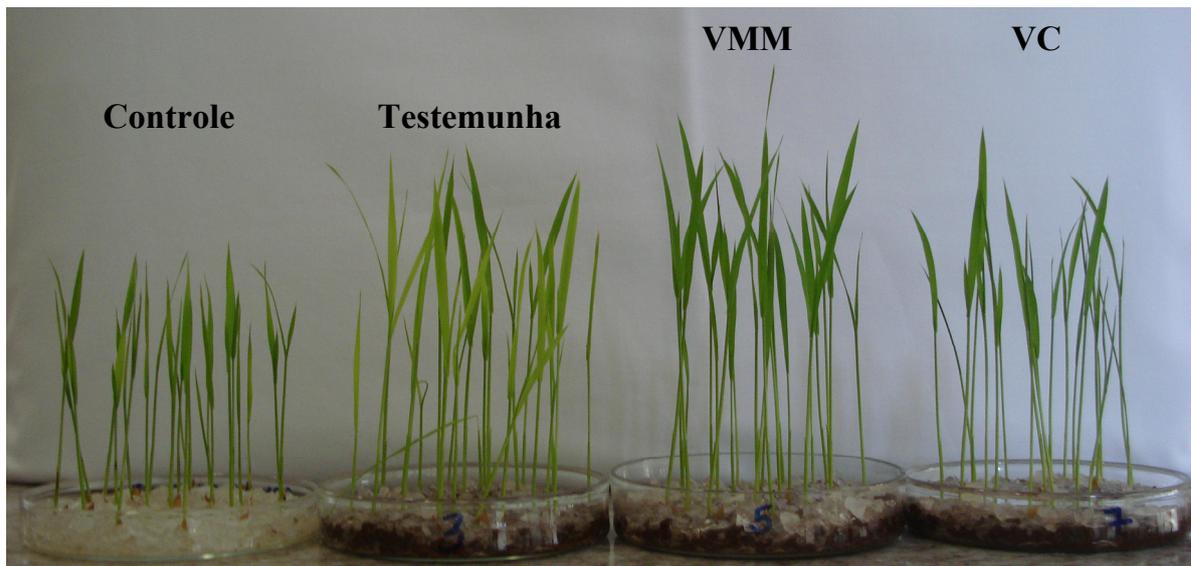


Figura 18 - Aspecto das plantas nos tratamentos controle, testemunha, vinhaça mosto misto e vinhaça concentrada no solo saturado com potássio.



Figura 19 - Aspecto do sistema radicular nos tratamentos controle, testemunha, vinhaça mosto misto e vinhaça concentrada no solo argiloso saturado com potássio.

Não foi verificada diferença estatística na produção de matéria seca em função dos tratamentos pelo teste de Tukey a 5%. Assim sendo foi possível calcular a produção média dos tratamentos ao final do ensaio. A produção média de matéria seca (M.S.) pelas plantas de arroz (parte aérea e sistema radicular) foi 0,41 g. Apesar de não ter sido observada diferença na massa seca produzida, no solo arenoso as plantas do tratamento

com vinhaça concentrada, apresentaram, visualmente menor crescimento (Figuras 14, 16 e 18).

MELLO (1987), em estudo da eficiência do método de Neubauer na avaliação de fósforo e de potássio disponíveis no solo, concluiu que o método foi eficiente para determinar o teor de K disponível no solo para as plantas. Na Tabela 14 pode ser verificado o teor de potássio extraído pelas plantas de arroz.

Tabela 14 – Extração de potássio pelas plantas de arroz nos diferentes solos e tratamentos ao final do ensaio tipo Neubauer.

Tratamentos	Solo Arenoso	Solo Argiloso	Solo Argiloso Saturado com K
	K extraído (mg vaso ⁻¹)		
Testemunha	0,49 a ⁽¹⁾ A ⁽²⁾	0,43 a A	2,55 bA
Vinhaça Mosto Misto	3,37 aB	4,98 bB	4,39 abB
Vinhaça Concentrada	2,35 aB	3,98 bB	4,59 bB

⁽¹⁾Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças entre solos utilizados (Tukey 5%).

⁽²⁾Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças entre tratamentos (Tukey 5%)

A extração de K pelas plantas nos tratamentos com vinhaça foram iguais independentes do tipo de solo. Considerando o solo presente no tratamento verifica-se que nos solos argilosos a quantidade de potássio extraída pelas plantas foi maior que aquela removida pelas plantas no solo arenoso e, apesar da condutividade elétrica observada no solo do tratamento com solo argiloso saturado com potássio, verifica-se que não houve efeito sobre a quantidade de potássio removida.

Embora do teor de potássio aplicado aos solos através da vinhaça concentrada ter sido, aproximadamente, três vezes maior do que a quantidade de K adicionado através da vinhaça mosto misto, a quantidade deste elemento removida pelas plantas de arroz não diferiu estatisticamente entre os tratamentos com VMM e VC.

Na Tabela 15 são apresentadas as porcentagens de potássio extraídas pelas plantas de arroz calculadas em função do potássio presente no solo.

Tabela 15 – Porcentagem (%) de potássio extraído pelas plantas de arroz nos diferentes solos e tratamentos ao final do ensaio tipo Neubauer.

Tratamentos	Solo	Solo	Solo Argiloso
	Arenoso	Argiloso	Saturado com K
% de K extraído			
Testemunha	39	55	39
Vinhaça Mosto Misto	21	28	22
Vinhaça Concentrada	5	8	5

As testemunhas dos três solos utilizados apresentaram maior percentual de extração em relação aos demais tratamentos, ou seja, quanto menor o teor de K no solo, maior a extração, em %, pelas plantas de arroz. Apesar do tratamento testemunha do solo argiloso saturado com K apresentar maior teor deste elemento, a % de K extraída pelas plantas foi igual à apresentada pelas testemunhas dos demais solos utilizados no ensaio. Os tratamentos com vinhaça independentemente do tipo de solo apresentaram o mesmo comportamento.

Após analisar os resultados obtidos, pode-se dizer que após as três aplicações sucessivas de vinhaça mosto misto e vinhaça concentrada, houve acúmulo de K, aumento da condutividade elétrica, elevação do pH e aumento do teor de K na CTC para valores superiores aos 5% permitido pela norma técnica da CETESB para aplicação de vinhaça aos solos. No entanto, a degradação do conteúdo orgânico destes resíduos não foi influenciada pelos os fatores acima mencionados. Ademais, no ensaio para verificar o crescimento de plantas e a produção de matéria seca em função do acúmulo de K provocado pelas aplicações sucessivas de vinhaças, verificou-se que os tratamentos não apresentaram efeito deletério quanto ao crescimento e produção de matéria seca, ao contrário disso, no solo argiloso, observou-se maior produção de matéria seca em função dos tratamentos com VMM e VC.

Assim sendo, caso a recomendação de adubação de vinhaça fosse feita em função do nitrogênio e, considerando que a quantidade de N Kjeldahl existente na vinhaça corresponde ao N disponível para uma adubação com 120 kg ha⁻¹ de N,

teríamos que utilizar uma dose $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de VMM, o que corresponde a uma adição de 278 kg ha^{-1} de K. Quanto à vinhaça concentrada, para promover uma fertilização com 120 kg ha^{-1} de N, seria preciso uma aplicação de, aproximadamente, $22 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ que deve fornecer 450 kg ha^{-1} de K, valor este superior ao máximo recomendado pela adubação potássica para a lavoura canavieira.

5 CONCLUSÕES

Considerando-se as condições nas quais se desenvolveu o presente estudo, os resultados permitem estabelecer as seguintes conclusões:

- a) Por apresentar maior degradação nos três solos, a vinhaça mosto misto, pode apresentar maior potencial poluidor do que a vinhaça concentrada, à medida que a rápida degradação do conteúdo orgânico e conseqüente mineralização do nitrogênio, deixa os nutrientes da vinhaça, inclusive o NO_3^- , disponíveis na solução do solo e passíveis de lixiviação.
- b) Houve acúmulo de K, elevação da condutividade elétrica e aumento na CTC dos solos em função das reaplicações de vinhaça, porém a degradação do conteúdo orgânico das vinhaças não foi prejudicada.
- c) A vinhaça mosto misto e a vinhaça concentrada têm potencial para fornecer todo o nitrogênio exigido pela cultura.
- d) A taxa de degradação do carbono é um atributo melhor para avaliar o N disponível da vinhaça do que a determinação da taxa de mineralização do nitrogênio uma vez que as duas reações ocorrem simultaneamente.
- e) O aumento da C.E. decorrente das aplicações sucessivas da vinhaça não restringiu o crescimento inicial das plantas de arroz.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, J.C.; CHITOLINA, J.C. Determinação do nitrogênio total em solos pelo método de liga de raney. **Revista de Agricultura Piracicaba**, v.66, n.1, p.97-106, jun. 1991.

ALEXANDER, M.I.H. Introduction to soil microbiology. 4. ed. New York: John Wiley, 472 p., 1967.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. **Boletim Técnico n. 78**. Instituto Agrônômico, Campinas, SP, 48 p., 1983.

BIANCHI, S.R.; NOGUEIRA, A.R.A.; MOREIRA, A.; SOUZA, G.B.; MENEZES, E.A. Alterações nos atributos químicos de um latossolo vermelho amarelo distrófico com adição de vinhaça. **FertBio 2008: desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental**. Resumos - Londrina: Embrapa Soja: SBCS: IAPAR: UEL. 265p., 2008.

BOLETIM TÉCNICO PLANALSUCAR. Piracicaba, v. 5, n. 1, Janeiro, 38 p., 1983

BRITO, F.L.; ROLIM, M.M.; SILVA, J.A.A. da; PEDROSA, E.M.R. Qualidade do percolado de solos que receberam vinhaça em diferentes doses e tempos de incubação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p. 318-323, 2007.

CALDEIRA, D.S.A. Cinética da degradação de compostos orgânicos no solo. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo, Setembro, 1997.

CAMARGO, O. A. de; BERTON, R.S.; GERALDI, R.N.; VALADARES, J.M.A. da S. Alterações de características químicas de um latossolo roxo distrófico incubado com subprodutos da indústria álcool-açucareira. **Boletim Técnico nº 76**. Instituto Agrônômico, Campinas, SP, 30p. 1983.

CAMARGO, O.A. de.; VALADARES, J.M.A.S. DA.; BERTON, R.S.; SOBRINHO T.J. Aplicação de vinhaça no solo e efeito no teor de nitrogênio, fósforo e enxofre inorgânicos e no de alguns metais pesados. **Boletim Técnico IAC**. Instituto de Agronomia de Campinas, Campinas, SP, (8), 15p. 1984.

CATANI, R.A.; BERGAMIN, H.F. Sobre uma modificação do método de Neubauer. Anais da escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, v. XVIII, p.287-300, 1961.

CETESB Norma Técnica P4.231 - Vinhaça - Critérios e Procedimentos para Aplicação no Solo Agrícola - jan/2005.

CETESB. Critérios para aplicação de biossólidos em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação. São Paulo: CETESB, 32 p., 1999.

CONSCIONE, A.R.; de ANDRADE, J.C. Protocolos para avaliação da dinâmica de subprodutos orgânicos no solo (capítulo 10). In: de ANDRADE, J.C.; de ABREU, M.F. (editores). Análise química de subprodutos sólidos para monitoramento e estudos agroambientais. Editora IAC, Campinas, 178 p., 2006.

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

GLÓRIA, N.A da. Emprego da vinhaça para fertilização. Publicado pela construtora de destilarias Dedini (Codistil). Piracicaba, SP, 32p., 1976.

GLÓRIA, N.A. da.; ORLANDO FILHO, J. Aplicação da vinhaça como fertilizante. **Boletim Técnico Planalsucar**, Piracicaba, 5 (1): 1-38, janeiro, 1983.

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

LEAL, J.R.; SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X.; ROSSIELLO, R.O.P. Potencial redox e pH: variações em um solo tratado com vinhaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p.257-261, 1983.

LEME, E.J.A.; ROSENFELD, U.; BAPTISTELLA, J.R. Aplicação de vinhaça em cana-de-açúcar por aspersão. **Boletim Técnico Planalsucar**, Série B, Piracicaba, v.1, no 4, p.1-42, Setembro, 1979.

MAGISTRA. Publicação técnico-científica dos docentes e discentes da escola de agronomia da Universidade Federal da Bahia Cruz das Almas, 1983.

MATTIAZZO, M.E.; GLÓRIA, N.A. da. Effect of vinasse on soil acidity. **Water Science and Technology**, London, 19(7):1293-96, 1987.

MATTIAZZO-PREZOTTO, M.E. Fracionamento de fósforo de solos incubados com vinhaça. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Piracicaba, São Paulo, Fevereiro, 1979.

MAZZA, J.A. Variações em algumas propriedades de solos com cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) tratados com doses maciças de vinhaça. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Piracicaba, São Paulo, Maio, 1985.

MELLO, F.de A.F.de. Eficiência do método de Neubauer na avaliação de fósforo e de potássio disponíveis do solo. **Revista de Agricultura**, v.62, n.3, p.273-9, 1987.

MINHONI, M.T.A.; CERRI, C.C. Decomposição de vinhaça em solo sob diferentes níveis de umidade: Liberação de CO₂, formação de biomassa microbiana e imobilização do nitrogênio adicionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 11: 25 – 30, 1987.

MULVANEY, R.L. Nitrogen – inorganic forms. In: Sparks et al. (ed.). Methods of soil analysis. Part 3 – Chemical methods. American Society of Agronomy, 1996.

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

ORLANDO FILHO, J. (Coord.) Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba: Instituto do Açúcar e Alcool, 369 p., 1983.

ORLANDO FILHO, J; BITTENCOURT, V.C.de; ALVES, M.C. Aplicação de vinhaça em solo arenoso do Brasil e poluição do lençol freático com nitrogênio. **Sociedade dos Técnicos Alcooleiros e Açucareiros do Brasil (STAB)**, v.13, julho-agosto, nº 6, 1995.

RAIJ, B. V. (Org.); ANDRADE, J. C. (Org.); CANTARELLA, H. (Org.); QUAGGIO, J. A. (Org.) . Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, v. 1. 285 p., 2001.

REIS, T.C. Variação da acidez do solo em resposta á adição de materiais orgânicos. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo, Dezembro, 1998.

RODELLA, A.A. & FERRARI, S.E. A composição da vinhaça e efeitos de sua aplicação como fertilizante na cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, ano XLV, volume VC, n.1, julho, 1977.

RODELLA, A.A; SABOYA, L.V. Calibration for conductimetric determination of carbon dioxide. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 31, p. 2059 – 2060, 1999.

ROSSETTO, R. A cana-de-açúcar e a questão ambiental. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M. de; LANDELL, M.G. de A (eds). Cana-de-açúcar. Campinas, Instituto Agrônomo, p. 869-882, 2008.

ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C. Fertilidade do solo, nutrição e adubação. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M. de; LANDELL, M.G. de A (eds). Cana-de-açúcar. Campinas, Instituto Agrônomo, p. 221-228, 2008.

ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C.; TAVARES, S. Potássio In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M. de; LANDELL, M.G. de A (eds). Cana-de-açúcar. Campinas, Instituto Agronômico, p. 289-312, 2008.

SILVA, M.A .S.; GRIEBELER, N.P.; BORGES, L.C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.108–114, 2007.

SPARKS, D.L. Environmental Soil Chemistry. Elsevier. 1995.

VASCONCELLOS, C.A. Equilíbrio iônico e capacidade de troca de cátions, de alguns solos, em função do pH e dos teores de cálcio e magnésio. Dissertação (Doutorado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo, Novembro, 1976.

WALANE, I.; MELLO, M.P.de; ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A.D.; BARBOSA, G.V.; VASCONCELOS, J.N. Impulsionando a produção e a produtividade da cana-de-açúcar. In: Albuquerque, A.C.S.; Silva, A.G. (Org.). Agricultura Tropical. 1 ed. Brasília: Embrapa Informação tecnológica, v. 1, p. 673-716, 2008.

7 ANEXOS

7.1 ANEXO 1 - Quantidade de CO₂ adicionado via vinhaça mosto misto, vinhaça concentrada e glicose (mg CO₂ vaso⁻¹).

Quantidade de CO₂ adicionado via resíduo (mg CO₂ vaso⁻¹)	
Vinhaça Mosto Misto (VMM)	2830,30
Vinhaça Concentrada (VC)	9348,10
Glicose	2933,30

7.2 ANEXO 2 - Respirometria - Solo Arenoso (1ª Aplicação)

Concentração (mg de CO₂)

	06/dez	07/dez	08/dez	09/dez	10/dez	11/dez	12/dez	13/dez	17/dez	19/dez	21/dez	26/dez	28/dez	08/jan
Tratamento	1	2	3	4	5	6	7	8	12	14	16	21	23	34
Testemunha	41,67	28,20	18,71	23,75	13,69	16,32	15,59	28,05	35,04	28,23	22,94	48,91	19,50	793,21
VMM	497,69	472,22	233,39	159,94	78,90	73,09	67,26	130,42	102,54	71,86	48,45	117,77	41,64	881,24
VC	426,68	626,19	456,22	426,74	236,23	242,93	248,79	436,10	419,09	370,76	274,32	617,34	213,76	891,84
Glicose	106,84	215,35	201,74	233,16	135,98	133,17	132,66	313,59	255,17	151,66	98,07	208,71	66,92	939,54

Concentração (mg de CO₂) (sem testemunha)

	06/dez	07/dez	08/dez	09/dez	10/dez	11/dez	12/dez	13/dez	17/dez	19/dez	21/dez	26/dez	28/dez	08/jan
Tratamento	1	2	3	4	5	6	7	8	12	14	16	21	23	34
VMM	456,02	444,02	214,68	136,18	65,21	56,77	51,67	102,37	67,50	43,63	25,51	68,86	22,15	88,03
VC	385,01	598,00	437,51	402,99	222,54	226,60	233,20	408,05	384,05	342,52	251,38	568,43	194,26	98,63
Glicose	65,17	187,16	183,03	209,40	122,29	116,85	117,06	285,54	220,13	123,43	75,13	159,80	47,42	146,34

CO₂ acumulado

	06/dez	07/dez	08/dez	09/dez	10/dez	11/dez	12/dez	13/dez	17/dez	19/dez	21/dez	26/dez	28/dez	08/jan
Tratamento	1	2	3	4	5	6	7	8	12	14	16	21	23	34
VMM	456,02	900,04	1114,72	1250,90	1316,11	1372,88	1424,54	1526,91	1594,41	1638,04	1663,55	1732,41	1754,56	1842,59
VC	385,01	983,00	1420,51	1823,50	2046,04	2272,65	2505,84	2913,89	3297,94	3640,46	3891,85	4460,28	4654,54	4753,17
Glicose	65,17	252,32	435,36	644,76	767,05	883,90	1000,97	1286,50	1506,63	1630,06	1705,20	1864,99	1912,41	2058,75

Tratamento	C adicionado	CO ₂ adicionado		CO ₂ emanado 34 dias	CO ₂ líquido		Degradação %
		mg/vaso	mg/vaso		líquido	%	
Testemunha	-	-	-	1365,24	-	-	-
VMM	771,9	2.830,30	2976,41	2976,41	1842,59	65,1	65,1
VC	2.549,50	9.348,10	5886,99	5886,99	4753,17	50,9	50,9
Glicose	800	2.933,30	3192,57	3192,57	2058,75	70,2	70,2

7.3 ANEXO 3 - Respirometria - Solo Argiloso (1ª Aplicação)

Concentração (mg de CO₂)

	06/dez	07/dez	08/dez	09/dez	10/dez	11/dez	12/dez	13/dez	14/dez	17/dez	19/dez	21/dez	26/dez	28/dez	08/jan
Tratamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	14	16	21	23	34
Testemunha	42,31	36	217	25	15,32	16,32	17,92	31,98	29,73	31,98	28,23	21,07	50,34	19,50	121,68
VMM	185,95	287	268	226	120,21	128,91	127,77	216,13	273,79	216,13	135,10	89,65	191,14	65,48	302,35
VC	223,89	384,71	543,79	589,63	335,79	337,78	336,76	444,49	444,49	448,02	442,62	384,33	773,82	215,44	789,06
Glicose	107,96	273,99	373,14	240,17	133,66	136,25	140,10	395,11	118,48	222,71	143,26	92,92	193,51	61,14	268,01

Concentração (mg de CO₂) (sem testemunha)

	06/dez	07/dez	08/dez	09/dez	10/dez	11/dez	12/dez	13/dez	14/dez	17/dez	19/dez	21/dez	26/dez	28/dez	08/jan
Tratamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	14	16	21	23	34
VMM	143,65	250,38	51,89	201,12	104,89	112,59	109,85	184,15	244,06	184,15	106,86	68,58	140,80	45,98	180,67
VC	181,58	348,44	327,29	564,47	320,47	321,46	318,84	412,50	414,76	416,03	414,39	363,27	723,48	195,94	667,38
Glicose	65,65	237,72	156,64	215,01	118,35	119,93	122,18	363,13	88,76	190,73	115,03	71,86	143,18	41,64	146,34

CO₂ acumulado

	06/dez	07/dez	08/dez	09/dez	10/dez	11/dez	12/dez	13/dez	14/dez	17/dez	19/dez	21/dez	26/dez	28/dez	08/jan
Tratamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	14	16	21	23	34
VMM	143,65	394,03	445,92	647,04	751,93	864,52	974,37	1158,51	1402,57	1586,72	1693,58	1762,16	1902,96	1948,94	2129,61
VC	181,58	530,03	857,32	1421,79	1742,26	2063,71	2382,55	2795,06	3209,82	3625,85	4040,24	4403,50	5126,98	5322,93	5990,31
Glicose	65,65	303,37	460,00	675,01	793,36	913,28	1035,46	1398,59	1487,35	1678,08	1793,11	1864,97	2008,14	2049,79	2196,12

Tratamento	C adicionado	CO ₂ adicionado		CO ₂ emanado 34 dias	CO ₂ líquido	Degradação
		mg/vaso	%			
Testemunha	-	-	-	1365,24	-	-
VMM	771,9	2.830,30	3494,86	3494,86	2129,61	75,2
VC	2.549,50	9.348,10	6694,62	6694,62	5329,38	57,0
Glicose	800	2.933,30	3561,37	3561,37	2196,12	74,9

7.4 ANEXO 4 - Respirometria - Solo Argiloso Saturado com K (1ª Aplicação)

Concentração (mg de CO₂)

	06/dez	07/dez	08/dez	09/dez	10/dez	11/dez	12/dez	13/dez	14/dez	17/dez	19/dez	21/dez	26/dez	28/dez	08/jan
Tratamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	14	16	21	23	34
Testemunha	23,38	21	17	20	13,00	13,96	15,83	33,32	36,69	29,17	23,41	66	27,92	177	23,38
VMM	472,54	380	230	221	114,40	107,39	101,00	191,08	150,51	104,06	76,07	175	63,31	319	472,54
VC	710,44	696,32	557,83	496,16	271,04	269,42	277,65	444,97	447,07	425,59	295,86	677,89	221,94	905,21	710,44
Glicose	283,05	490,54	350,65	220,13	109,07	91,78	85,18	168,54	132,64	97,06	71,16	340,73	60,90	320,33	283,05

Concentração (mg de CO₂) (sem testemunha)

	06/dez	07/dez	08/dez	09/dez	10/dez	11/dez	12/dez	13/dez	14/dez	17/dez	19/dez	21/dez	26/dez	28/dez	08/jan
Tratamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	14	16	21	23	34
VMM	449,17	358,43	213,39	200,89	101,41	93,43	85,18	157,75	113,83	74,90	52,66	109,93	35,39	141,73	449,17
VC	687,06	675,14	540,99	475,71	258,05	255,46	261,82	411,64	410,39	396,42	272,45	612,36	194,02	728,22	687,06
Glicose	259,67	469,36	333,81	199,67	96,07	77,82	69,35	135,22	95,95	67,90	47,75	275,19	32,98	143,34	259,67

CO₂ acumulado

	06/dez	07/dez	08/dez	09/dez	10/dez	11/dez	12/dez	13/dez	14/dez	17/dez	19/dez	21/dez	26/dez	28/dez	08/jan
Tratamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	14	16	21	23	34
VMM	449,17	807,59	1020,98	1221,87	1323,28	1416,71	1501,89	1659,65	1773,47	1848,37	1901,03	2010,97	2046,35	2188,08	449,17
VC	687,06	1362,20	1903,20	2378,90	2636,95	2892,41	3154,23	3565,88	3976,26	4372,69	4645,14	5257,50	5451,51	6179,73	687,06
Glicose	259,67	729,03	1062,85	1262,52	1358,59	1436,41	1505,76	1640,98	1736,93	1804,83	1852,58	2127,77	2160,75	2304,09	259,67

Tratamento	C adicionado	CO₂ adicionado	CO₂ emanado 34 dias	CO₂ líquido	Degradação
Testemunha	-	-	1178,59	-	
VMM	771,9	2.830,3	3366,67	2188,08	77,3
VC	2.549,5	9348,10	6697,39	5518,80	59,0
Glicose	800	2933,3	3482,68	2304,09	78,5

7.5 ANEXO 5 - Respirometria - Solo Arenoso (2ª Aplicação)

Concentração (mg de CO₂)

	10/fev	11/fev	12/fev	13/fev	14/fev	15/fev	18/fev	19/fev	20/fev	22/fev	25/fev	27/fev	03/mar	07/mar
Tratamento	I	2	3	4	5	6	9	10	11	13	16	18	23	27
Testemunha	17,59	77,91	8,60	0,00	0,00	32,49	27,85	33,32	36,69	13,60	24,28	14,59	39,91	39,93
VMM	448,20	341,94	258,33	0,00	0,00	326,16	370,53	191,08	150,51	97,17	133,04	65,80	138,10	101,06
VC	835,15	535,53	523,26	216,33	190,70	434,46	722,24	444,97	447,07	213,29	266,08	139,97	289,42	232,69
Glicose	610,47	541,24	353,07	0,00	0,00	260,93	149,59	168,54	132,64	46,40	64,17	35,17	77,86	62,86

Concentração (mg de CO₂) (sem testemunha)

	10/fev	11/fev	12/fev	13/fev	14/fev	15/fev	18/fev	19/fev	20/fev	22/fev	25/fev	27/fev	03/mar	07/mar
Tratamento	I	2	3	4	5	6	9	10	11	13	16	18	23	27
VMM	430,61	264,02	249,73	0,00	0,00	293,67	342,68	157,75	113,83	83,57	108,76	51,20	98,19	61,13
VC	817,56	457,62	514,66	216,33	190,70	401,97	694,39	411,64	410,39	199,69	241,80	125,37	249,50	192,76
Glicose	592,88	463,33	344,47	0,00	0,00	228,44	121,74	135,22	95,95	32,80	39,89	20,58	37,95	22,92

CO₂ acumulado

	10/fev	11/fev	12/fev	13/fev	14/fev	15/fev	18/fev	19/fev	20/fev	22/fev	25/fev	27/fev	03/mar	07/mar
Tratamento	I	2	3	4	5	6	9	10	11	13	16	18	23	27
VMM	430,61	694,63	944,37	944,37	944,37	1238,03	1580,72	1738,47	1852,30	1935,86	2044,62	2095,83	2194,01	2255,14
VC	817,56	1275,18	1789,84	2006,18	2196,87	2598,84	3293,23	3704,87	4115,26	4314,95	4556,75	4682,12	4931,62	5124,39
Glicose	592,88	1056,21	1400,68	1400,68	1400,68	1629,11	1750,86	1886,07	1982,03	2014,82	2054,71	2075,29	2113,24	2136,16

Tratamento	C adicionado	CO ₂ adicionado	CO ₂ emanado 27 dias	CO ₂ líquido	Degradação
Testemunha	-	-	366,78	-	
VMM	771,9	2.830,30	2621,92	2255,14	79,7
VC	2.549,50	9.348,10	5491,16	5124,39	54,8
Glicose	800	2.933,30	2502,94	2136,16	72,8

7.6 ANEXO 6 - Respirometria - Solo Argiloso (2ª Aplicação)

Concentração (mg de CO₂)

	10/fev	11/fev	12/fev	13/fev	14/fev	15/fev	18/fev	19/fev	20/fev	22/fev	25/fev	27/fev	03/mar	07/mar
Tratamento	I	2	3	4	5	6	9	10	11	13	16	18	23	27
Testemunha	8,14	77,65	6,21	0,00	0,00	32,49	76,88	33,32	36,69	22,11	39,64	24,88	58,76	52,01
VMM	518,32	389,61	264,20	0,00	0,00	326,16	379,91	191,08	150,51	82,84	105,87	59,58	136,38	104,02
VC	786,50	489,47	470,11	195,57	200,18	434,46	918,05	444,97	447,07	271,35	382,09	195,48	382,46	276,08
Glicose	165,98	216,81	327,99	0,00	0,00	260,93	508,75	168,54	132,64	123,16	157,07	68,67	136,63	100,32

Concentração (mg de CO₂) (sem testemunha)

	10/fev	11/fev	12/fev	13/fev	14/fev	15/fev	18/fev	19/fev	20/fev	22/fev	25/fev	27/fev	03/mar	07/mar
Tratamento	I	2	3	4	5	6	9	10	11	13	16	18	23	27
VMM	510,19	311,96	257,98	0,00	0,00	293,67	303,04	157,75	113,83	60,73	66,23	34,69	77,62	52,01
VC	778,36	411,82	463,90	195,57	200,18	401,97	841,17	411,64	410,39	249,25	342,45	170,59	323,70	224,07
Glicose	157,84	139,15	321,78	0,00	0,00	228,44	431,87	135,22	95,95	101,06	117,43	43,78	77,86	48,31

CO₂ acumulado

	10/fev	11/fev	12/fev	13/fev	14/fev	15/fev	18/fev	19/fev	20/fev	22/fev	25/fev	27/fev	03/mar	07/mar
Tratamento	I	2	3	4	5	6	9	10	11	13	16	18	23	27
VMM	510,19	822,15	1080,13	1080,13	1080,13	1373,80	1676,84	1834,59	1948,42	2009,15	2075,38	2110,07	2187,69	2239,70
VC	778,36	1190,18	1654,08	1849,65	2049,83	2451,80	3292,97	3704,61	4115,00	4364,24	4706,69	4877,28	5200,98	5425,04
Glicose	157,84	296,99	618,77	618,77	618,77	847,20	1279,07	1414,29	1510,24	1611,30	1728,73	1772,52	1850,38	1898,70

Tratamento	C adicionado	CO ₂ adicionado	CO ₂ emanado 27 dias	CO ₂ líquido	Degradação
Testemunha	-	-	468,79	-	
VMM	771,9	2.830,30	2708,49	2239,70	79,1
VC	2.549,50	9.348,10	5893,83	5425,04	58,0
Glicose	800	2.933,30	2367,48	1898,70	64,7

7.7 ANEXO 7 - Respirometria - Solo Argiloso Saturado com K (2ª Aplicação)

Concentração (mg de CO₂)

	10/fev	11/fev	12/fev	13/fev	14/fev	15/fev	18/fev	19/fev	20/fev	22/fev	25/fev	27/fev	03/mar	07/mar
Tratamento	I	2	3	4	5	6	9	10	11	13	16	18	23	27
Testemunha	18,11	87	11	0	0,00	32,49	78,99	33,32	36,69	21,13	29,48	17	48,48	46
VMM	684,51	313	164	0	0,00	326,16	276,47	191,08	150,51	68,51	92,66	50	114,35	95
VC	938,96	548,77	530,81	206,85	206,08	434,46	830,59	444,97	447,07	168,84	216,78	109,82	233,34	173,04
Glicose	705,43	538,17	220,17	0,00	0,00	260,93	265,42	168,54	132,64	66,32	107,03	52,88	124,14	273,12

Concentração (mg de CO₂) (sem testemunha)

	10/fev	11/fev	12/fev	13/fev	14/fev	15/fev	18/fev	19/fev	20/fev	22/fev	25/fev	27/fev	03/mar	07/mar
Tratamento	I	2	3	4	5	6	9	10	11	13	16	18	23	27
VMM	666,39	226,55	152,84	0,00	0,00	293,67	197,48	157,75	113,83	47,37	63,18	32,30	65,87	49,05
VC	920,85	462,18	519,62	206,85	206,08	401,97	751,60	411,64	410,39	147,70	187,30	92,59	184,86	126,70
Glicose	687,32	451,58	208,97	0,00	0,00	228,44	186,43	135,22	95,95	45,18	77,55	35,65	75,66	226,78

CO₂ acumulado

	10/fev	11/fev	12/fev	13/fev	14/fev	15/fev	18/fev	19/fev	20/fev	22/fev	25/fev	27/fev	03/mar	07/mar
Tratamento	I	2	3	4	5	6	9	10	11	13	16	18	23	27
VMM	666,39	892,95	1045,79	1045,79	1045,79	1339,45	1536,93	1694,69	1808,51	1855,88	1919,06	1951,36	2017,23	2066,28
VC	920,85	1383,03	1902,65	2109,49	2315,57	2717,54	3469,14	3880,78	4291,17	4438,87	4626,16	4718,76	4903,62	5030,32
Glicose	687,32	1138,90	1347,87	1347,87	1347,87	1576,31	1762,74	1897,95	1993,91	2039,09	2116,64	2152,29	2227,95	2454,72

Tratamento	C adicionado	CO ₂ adicionado	CO ₂ emanado 27 dias	CO ₂ líquido	Degradação
Testemunha	-	-	468,79	-	
VMM	771,9	2.830,30	2708,49	2239,70	79,1
VC	2.549,50	9.348,10	5893,83	5425,04	58,0
Glicose	800	2.933,30	2367,48	1898,70	64,7

7.8 ANEXO 8 - Respirometria - Solo Arenoso (3ª Aplicação)

Concentração (mg de CO₂)

	02/abr	03/abr	04/abr	05/abr	06/abr	07/abr	08/abr	09/abr	11/abr	13/abr	16/abr	18/abr	22/abr	25/abr	29/abr
Tratamento	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	15	17	21	24	28
Testemunha	12,49	43,88	70,03	8,12	13,78	2,27	5,00	8,87	21,13	28,63	29,99	20,97	40,26	25,30	30,21
VMM	179,14	350,81	243,64	177,14	221,94	210,96	104,20	127,16	124,19	122,07	147,82	95,84	103,90	145,52	99,98
VC	342,80	888,98	188,94	534,32	415,35	203,26	50,94	175,23	345,80	396,49	367,54	256,80	510,59	156,98	165,08
Glicose	114,43	226,56	71,91	166,24	153,54	78,43	21,19	75,83	152,36	177,66	194,00	111,21	162,72	88,00	102,56

Concentração (mg de CO₂) (sem testemunha)

	02/abr	03/abr	04/abr	05/abr	06/abr	07/abr	08/abr	09/abr	11/abr	13/abr	16/abr	18/abr	22/abr	25/abr	29/abr
Tratamento	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	15	17	21	24	28
VMM	166,65	306,93	173,61	169,02	208,17	208,69	99,20	118,30	103,06	93,45	117,83	74,87	63,64	120,22	69,78
VC	330,31	845,09	118,91	526,20	401,57	200,99	45,94	166,36	324,67	367,87	337,54	235,83	470,33	131,68	134,87
Glicose	101,94	182,68	1,88	158,12	139,76	76,16	16,19	66,96	131,23	149,04	164,01	90,23	122,46	62,70	72,35

CO₂ acumulado

	02/abr	03/abr	04/abr	05/abr	06/abr	07/abr	08/abr	09/abr	11/abr	13/abr	16/abr	18/abr	22/abr	25/abr	29/abr
Tratamento	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	15	17	21	24	28
VMM	166,65	473,58	647,18	816,20	1024,37	1233,06	1332,26	1450,56	1553,61	1647,06	1764,89	1839,76	1903,40	2023,62	2093,40
VC	330,31	1175,40	1294,31	1820,50	2222,07	2423,06	2469,00	2635,36	2960,03	3327,90	3665,44	3901,27	4371,60	4503,28	4638,15
Glicose	101,94	284,62	286,50	444,61	584,38	660,53	676,72	743,68	874,91	1023,95	1187,96	1278,20	1400,66	1463,37	1535,72

Tratamento	C adicionado	CO ₂ adicionado	CO ₂ emanado		Degradação
			28 dias	líquido	
Testemunha	-	-	360,92	-	%
VMM	771,9	2.830,30	2454,32	2093,40	74,0
VC	2.549,50	9.348,10	4999,07	4638,15	49,6
Glicose	800	2.933,30	1896,64	1535,72	52,4

7.9 ANEXO 9 - Respirometria - Solo Argiloso (3ª Aplicação)

Concentração (mg de CO₂)

	02/abr	03/abr	04/abr	05/abr	06/abr	07/abr	08/abr	09/abr	11/abr	13/abr	16/abr	18/abr	22/abr	25/abr	29/abr
Tratamento	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	15	17	21	24	28
Testemunha	9,99	37,72	70,24	9,60	15,26	1,51	5,24	9,33	17,14	20,35	24,52	19,27	28,69	20,54	26,93
VMM	383,27	475,06	159,29	179,69	92,52	63,30	20,47	61,36	110,57	123,73	124,73	76,09	121,02	75,03	80,55
VC	387,77	884,05	190,76	534,52	430,85	265,80	62,37	224,23	415,52	435,76	415,62	235,10	371,98	179,25	192,24
Glicose	125,68	581,06	113,28	259,51	190,94	125,84	31,90	113,86	186,16	157,79	129,02	78,77	121,98	66,81	77,74

Concentração (mg de CO₂) (sem testemunha)

	02/abr	03/abr	04/abr	05/abr	06/abr	07/abr	08/abr	09/abr	11/abr	13/abr	16/abr	18/abr	22/abr	25/abr	29/abr
Tratamento	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	15	17	21	24	28
VMM	373,28	437,34	89,04	170,09	77,26	61,78	15,23	52,03	93,43	103,38	100,22	56,82	92,33	54,49	53,62
VC	377,78	846,33	120,52	524,93	415,59	264,28	57,13	214,89	398,38	415,42	391,10	215,83	343,29	158,71	165,31
Glicose	115,68	543,35	43,04	249,91	175,69	124,32	26,66	104,53	169,02	137,45	104,50	59,51	93,30	46,27	50,81

CO₂ acumulado

	02/abr	03/abr	04/abr	05/abr	06/abr	07/abr	08/abr	09/abr	11/abr	13/abr	16/abr	18/abr	22/abr	25/abr	29/abr
Tratamento	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	15	17	21	24	28
VMM	373,28	810,62	899,66	1069,76	1147,02	1208,80	1224,04	1276,07	1369,50	1472,89	1573,10	1629,92	1722,25	1776,74	1830,36
VC	377,78	1224,10	1344,62	1869,55	2285,14	2549,42	2606,55	2821,45	3219,83	3635,25	4026,35	4242,18	4585,47	4744,17	4909,49
Glicose	115,68	659,03	702,07	951,98	1127,67	1251,99	1278,65	1383,18	1552,21	1689,65	1794,16	1853,66	1946,96	1993,23	2044,04

Tratamento	C adicionado	CO ₂ adicionado	CO ₂ emanado 28 dias	CO ₂ líquido	Degradação	
					mg/vaso	%
Testemunha	-	-	316,31	-		
VMM	771,9	2.830,30	2146,68	1830,36		64,7
VC	2.549,50	9.348,10	5225,80	4909,49		52,5
Glicose	800	2.933,30	2360,35	2044,04		69,7

7.10 ANEXO 10 - Respirometria - Solo Argiloso Saturado com K (3ª Aplicação)

Concentração (mg de CO₂)

	02/abr	03/abr	04/abr	05/abr	06/abr	07/abr	08/abr	09/abr	11/abr	13/abr	16/abr	18/abr	22/abr	25/abr	29/abr
Tratamento	I	2	3	4	5	6	7	8	10	12	15	17	21	24	28
Testemunha	18,49	42,90	69,60	10,39	14,03	4,03	4,76	10,97	25,59	28,86	32,14	4,76	42,67	31,57	40,04
VMM	438,49	569,97	139,97	213,93	167,81	53,71	15,00	52,50	98,83	117,81	116,16	15,00	129,22	74,38	87,81
VC	444,24	822,41	200,40	674,45	574,05	289,50	65,22	234,73	380,78	386,08	341,35	65,22	292,18	153,73	171,63
Glicose	339,30	721,83	96,24	170,07	141,73	52,96	15,23	56,46	119,73	161,58	150,92	15,23	154,77	77,41	90,38

Concentração (mg de CO₂) (sem testemunha)

	02/abr	03/abr	04/abr	05/abr	06/abr	07/abr	08/abr	09/abr	11/abr	13/abr	16/abr	18/abr	22/abr	25/abr	29/abr
Tratamento	I	2	3	4	5	6	7	8	10	12	15	17	21	24	28
VMM	420,00	527,07	70,37	203,54	153,79	49,68	10,24	41,53	73,24	88,95	84,03	10,24	86,55	42,81	47,77
VC	425,75	779,52	130,79	664,06	560,03	285,47	60,46	223,76	355,19	357,22	309,22	60,46	249,51	122,16	131,59
Glicose	320,81	678,94	26,64	159,68	127,70	48,92	10,47	45,50	94,14	132,72	118,78	10,47	112,10	45,84	50,34

CO₂ acumulado

	02/abr	03/abr	04/abr	05/abr	06/abr	07/abr	08/abr	09/abr	11/abr	13/abr	16/abr	18/abr	22/abr	25/abr	29/abr
Tratamento	I	2	3	4	5	6	7	8	10	12	15	17	21	24	28
VMM	420,00	947,08	1017,45	1220,99	1374,77	1424,45	1434,69	1476,22	1549,47	1638,42	1722,44	1732,68	1819,23	1862,04	47,77
VC	425,75	1205,27	1336,06	2000,12	2560,15	2845,61	2906,07	3129,83	3485,02	3842,24	4151,46	4211,92	4461,43	4583,60	131,59
Glicose	320,81	999,75	1026,39	1186,07	1313,77	1362,69	1373,17	1418,67	1512,80	1645,52	1764,30	1774,78	1886,88	1932,71	50,34

	C		CO ₂ adicionado	CO ₂ adicionado	CO ₂ emanado 28 dias	CO ₂ líquido	Degradação
	adicionado	mg/vaso					
Tratamento							
Testemunha	-	-	-	380,79	-	-	-
VMM	771,9	2.830,30	2290,59	1909,80	67,5		
VC	2.549,50	9.348,10	5095,98	4715,19	50,4		
Glicose	800	2.933,30	2363,85	1983,06	67,6		

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)