



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATO GROSSO

CAMPUS CUIABÁ - BELA VISTA

DEPARTAMENTO DE ENSINO

CURSO DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

**CARBONO ORGÂNICO NAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DA
MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS
SUBMETIDOS À APLICAÇÃO DE VINHAÇA**

TATIANE DE SOUZA OLIVEIRA

Cuiabá – MT

Julho de 2011



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATO GROSSO

CAMPUS CUIABÁ - BELA VISTA

DEPARTAMENTO DE ENSINO

CURSO DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

**CARBONO ORGÂNICO NAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DA
MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS
SUBMETIDOS À APLICAÇÃO DE VINHAÇA**

TATIANE DE SOUZA OLIVEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso Campus Cuiabá- Bela Vista, para obtenção de título de graduado.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Elaine de Arruda Oliveira Coringa

Cuiabá – MT

Julho de 2011

Divisão de Serviços Técnicos. Catalogação da publicação na fonte.
IFMT/Campus Bela Vista

O48c

OLIVEIRA, Tatiane de Souza

Carbono orgânico nas frações granulométricas da matéria orgânica em solos de diferentes texturas submetidos à aplicação vinhaça / Tatiane de Souza Oliveira - Cuiabá, MT: A Autora, 2011.

45f.il.

Orientadora: Prof.^a Dr^a Elaine de Arruda Oliveira Coringa.

Monografia (Graduação de Tecnologia em Gestão Ambiental) – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso.

1. Carbono orgânico. 2. Fertirrigação. 3. Fracionamento físico. I. Coringa, Elaine de Arruda Oliveira. II. Título.

CDD 547.1

TATIANE DE SOUZA OLIVEIRA

**CARBONO ORGÂNICO NAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DA MATÉRIA
ORGÂNICA EM SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS SUBMETIDOS À
APLICAÇÃO DE VINHAÇA**

Trabalho de Conclusão de Curso em Gestão Ambiental, submetido à Banca Examinadora composta pelos Professores do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Graduado.

Aprovado em: 26 de Julho de 2011

Prof.^a Dr.^a. Elaine de Arruda de Oliveira Coringa

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
(IFMT - Campus Cuiabá Bela Vista)

Prof.^o MSc. Josias do Espírito Santo Coringa

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
(IFMT - Campus Cuiabá Bela Vista)

Prof.^a Dr.^a. Adriana Paiva de Oliveira

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
(IFMT - Campus Cuiabá Bela Vista)

Cuiabá – MT

Julho de 2011

DEDICATÓRIA

Aos meus Pais Laurindo de Anunciação Duarte de Oliveira e Wanilda de Souza Oliveira, por me ensinarem valores e princípios. E as minhas amigas de curso Andressa Arcanjo da Silva, Ana Claudia Mendes Rocha, Débora dos Santos Silva e Jessica Cristinne, que sonharam comigo.

AGRADECIMENTOS

Caminhar em direção a um sonho é sempre uma forma desafiadora de enfrentar obstáculos impostos unicamente com o intuito de fazer com que a vitória seja digna de ser alcançada. Desta forma usam-se degraus e mais degraus que conduzem o caminho, estreitando a relação presente e futuro. Os degraus são forças que nos fazem persistir, apoios para manter-nos em pé, por isso, hoje agradeço aos meus degraus, apoio, ajuda sem os quais nada disso seria possível.

Agradeço a Deus o maior amor da minha vida, que me sustentou na fé mesmo diante de muitas barreiras e dificuldades, por ser Pai ele sempre se mostrou fiel a minha vida e acreditou em mim mais do que eu mesma, me fazendo alçar vãos que nunca pensei que fosse capaz de realizar.

Agradeço a Professora Dr^a. Elaine de Arruda de Oliveira Coringa, pela orientação, sendo antes de tudo amiga. Este trabalho é resultado de nosso comprometimento.

Agradeço a Universidade Federal de Mato Grosso, por meio da Professora Dr^a.Oscarlina L. dos S. Weber, que participa deste trabalho colaborando para o desenvolvimento metodológico das análises.

Aos companheiros da vida laboratorial, participantes diretos e/ou indiretos do sucesso deste trabalho, os discentes do Curso superior de Tecnologia em Gestão Ambiental: Clebson Rodrigues de Jesus Mendes, Larissa Rieger e Daniely Mendes da Costa Féfili, muito obrigado mesmo por toda colaboração e esforço realizados.

Agradeço a todo o quadro de professores do IFMT, campus Cuiabá- Bela Vista, por terem contribuído para o enriquecimento de meu conhecimento, sendo grandes profissionais em ensinar-me e verdadeiros mestres no saber.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para que nosso objetivo fosse alcançando com êxito, o meu muito obrigado.

“A natureza é constituída por um complexo de recursos que sustentam a vida do ser humano, cuja utilidade depende da sua capacidade em aproveitá-lo. Um sistema racional consiste basicamente em buscar a utilização mais eficiente dos recursos disponíveis e definindo, entre as diferentes combinações, qual a maneira mais conveniente de alcançar os melhores resultados.”

(MARCHETTI, 1986)

RESUMO

Objetivou-se com o trabalho avaliar a contribuição da vinhaça na qualidade de solos de diferentes texturas, cultivados com cana-de-açúcar, por meio da determinação das alterações nos atributos físico-químicos dos solos e no teor de CO associado à fração mineral do solo. As amostras correspondem à camada superficial do solo, e foram secas, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm procedendo-se às análises químicas, físicas e de fracionamento da MOS. As condições químicas e físicas do solo alteraram em virtude dos diferentes anos de manejo, modificando os atributos físico-químicos. O pH dos solos com vinhaça, aumentou em todas as amostras. Os valores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ foram mais elevados em NV4, superando os valores do CER. Nas análises de Na^+ , K^+ e N não apresentaram variações significativas. Os valores de SB apresentou relação direta com os teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, e os valores de V% atingiram níveis desejados na camada superficial, ultrapassando a 50% ($V_{\text{NV4}} = 86\%$). A CE nos solos com vinhaça foi maior que no CER. O incremento de MOS corrobora para o aumento da produtividade. Considerando que o tempo de reciclagem dos nutrientes depende do tipo, da quantidade da MOS e de sua localização dentro do perfil do solo, os solos com vinhaça foram eficientes na retenção de COT, apresentando teores mais elevados em tempos maiores de aplicação do resíduo em NV8 e LV8. Já os teores de Carbono presente nas frações granulométricas foram maiores na fração associada à argila + silte ($< 0,053 \text{ mm}$).

Palavras-chaves: Carbono orgânico, fertirrigação e fracionamento físico.

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the contribution of vinasse on soil quality of different textures, cultivated with sugar cane, through the determination of changes in physical and chemical attributes of OC carbon associated with soil minerals soil. The samples correspond to the topsoil, and were dried, Loosening and passed through a sieve of 2 mm proceeding to the chemical, physical and fractionation of SOM. The chemical and physical conditions of the soil changed owing to different years of management, modifying the physical and chemical attributes. The pH of the soil with vinasse increased in all samples. The values of $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ were higher in NV4, surpassing the values of the CER. In the analysis of Na^+ , K^+ and N did not show significant variations. The values of SB showed a direct relationship with levels $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, and the values of V% achieved desired levels on the surface, surpassing the 50% (VNV4 = 86%). The EC in soils with stillage was higher than in CER. The increase in SOM supports for increased productivity. Whereas time recycling of nutrients depends on the type, amount of SOM and its location within the soil profile, soils with vinasse were efficient in the retention of TOC, showing higher levels in longer times of application of the residue and NV8 LV8. Since the levels of carbon present in size fractions were higher in the fraction associated with clay + si (<0.053 mm).

Keywords: Organic carbon, fertigation and physical fractionation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Imagem do local do estudo a Usina Pantanal de Açúcar e Álcool	23
Figura 2. Perfil de um Neossolo Quartzarênico	24
Figura 3. Perfil de um Latossolo Vermelho-Amarelo	24
Figura 4. Esquema do fracionamento físico granulométrico realizado nas amostras de solo.....	27
Figura 5. Fracionamento granulométrico e as frações obtidas antes e após a secagem.....	27
Figura 6. Esquema analítico da determinação do Carbono Orgânico Total das amostras.....	28
Figura 7. Determinação do Carbono Orgânico Total das amostras.....	28
Figura 8. Teor de Carbono Orgânico Total (g kg^{-1}) no Neossolo e Latossolo com aplicação de vinhaça a 4 e 8 anos, e no cerrado.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características da vinhaça resultante de mostos de melaço, de caldo de cana e de mostos mistos.....	17
Tabela 2. Resultados das análises físico-químicas das amostras do solo.....	30
Tabela 3. Teor de Carbono orgânico (g kg^{-1}) presente nas frações granulométricas dos Neossolos e Latossolos com aplicações de vinhaça a 4 (V4) e 8 (V8) anos e no Cerrado.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AF = Areia fina

AG = Areia grossa

Al = Alumínio

AMF = Areia muito fina

AT = Areia total

Ca = Cálcio

C4 = Cana com 4 anos de aplicação de vinhaça

C8 = Cana com 8 anos de aplicação de vinhaça

CE = Condutividade elétrica

CER = Cerrado

C/N = Carbono/nitrogênio

CO = Carbono orgânico

COT = Carbono orgânico total

CTC = Capacidade de troca catiônica

DBO = Demanda Bioquímica de oxigênio

DP = Desvio padrão

DQO = Demanda química de oxigênio

EDTA = Ácido etilenodiaminotetracético

EMBRAPA = Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

K = Potássio

L = Latossolo

LV4 = Latossolo com 4 anos de aplicação de vinhaça

LV8 = Latossolo com 8 anos de aplicação de vinhaça

m% = Percentual de saturação do alumínio

Mg = Magnésio

MO = Matéria orgânica

MOS = Matéria orgânica do solo

N = Nitrogênio

N = Neossolo

Na = Sódio

ND = Nenhum valor detectado

NV4= Neossolo com 4 anos de aplicação de vinhaça

NV8 = Neossolo com 8 anos de aplicação de vinhaça

pH = Potencial hidrogeniônico

SB = Soma de bases trocáveis

SHs = Substâncias húmicas

TFSA = Terra fina seca ao ar

V% = Percentual de saturação por bases

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Vinhaça - origem e composição.....	17
2.2 Problemática ambiental solo-vinhaça	18
2.3 Impactos da vinhaça nas propriedades físico-químicas do solo.....	19
2.4 A matéria orgânica (MO) e seus efeitos no solo	21
2.5 Fracionamento da Matéria Orgânica do solo	22
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
3.1 Área de Estudo.....	23
3.2 Área de Coleta.....	24
3.3 Análise estatística.....	25
3.4 Análises físico-químicas do solo.....	25
3.5 Fracionamento físico do Carbono Orgânico do solo	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1 Alterações nos atributos físico-químicos dos solos com aplicação da vinhaça	30
4.2 Teor de carbono orgânico total (COT) dos solos	33
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
6. RECOMENDAÇÕES	38
7. REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

O aproveitamento de resíduos orgânicos gerados na produção agroindustrial e usados como fertilizantes é cada vez mais comum na agricultura atual. Dentre os resíduos produzidos nas indústrias de açúcar e álcool, a vinhaça é o mais utilizado como fertilizante.

A vinhaça é um resíduo líquido orgânico, de coloração cinza clara e pH baixo, com média de 93% de água, sendo que 73% dos constituintes sólidos que a compõem são substâncias orgânicas e o potássio e o cálcio os componentes inorgânicos com maior abundância (CERRI *et. al.*,1988).

A vinhaça possui alto poder poluente e alto valor fertilizante, e é classificada como resíduo sólido de classe II, ou seja, não-inerte e não-perigoso com base nas suas características físico-químicas (FREIRE; CORTEZ, 2000). Entretanto, seu poder poluente é altamente nocivo à fauna, flora, microfauna e microflora das águas doces.

Para sua utilização como bio-fertirrigante da cana-de-açúcar, são requeridos estudos de caracterização do solo e da vinhaça, para que resulte na definição da melhor taxa de aplicação. Esse estudo é essencial para obter o equilíbrio da necessidade da cultura, para que não ocorra à saturação da área e conseqüentemente, poluição do ambiente.

Devido ao número de destilarias existentes no estado de Mato Grosso somando um total de 15 usinas sucroalcooleiras e as perspectivas atuais de crescimento, divulgadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento divulgou em 09/01 que aponta projeções do agronegócio mundial e do Brasil de 2006/2007 até 2017/2018, neste quadro o álcool combustível aparece como líder na expansão dos principais produtos agrícolas no Brasil até o fim dos próximos dez anos. A maior geração de álcool é responsável direto por um acréscimo no volume de geração de vinhaça, fazendo com que a disposição final desse resíduo se torne uma das principais preocupações para os profissionais da área do meio ambiente. Principalmente por conta de sua riqueza em material orgânico e elevadas concentrações de potássio e outros minerais em pequenas concentrações, de onde provém o seu caráter poluidor.

A MO é entendida como todo e qualquer resíduo depositado no solo sendo este tanto de origem animal como vegetal proveniente de sistemas naturais e resíduos orgânicos (MAGDOFF, 1992), como a vinhaça. O CO presente na MOS representa a forma mais abundante deste elemento quando se avalia o seu ciclo global na superfície, sendo maior que a sua quantidade na atmosfera e mesmo na biomassa terrestre.

A importância da MO está vinculada à sua capacidade de interferência direta e/ou indireta nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, atuando na retenção de cátions, complexação de micronutrientes e elementos tóxicos, além de representar fonte nutricional para o crescimento vegetal (BAYER; MIELNICZUK, 1999). Desta forma, acredita-se que a MO seja, provavelmente, o melhor indicador de qualidade do solo, uma vez que mudanças consideráveis nas práticas de manejo são primeiramente refletidas neste material, que é bastante sensível.

Dentre as inúmeras técnicas usadas como forma de incremento da MO no solo, a fertirrigação se constitui em uma das alternativas de se associar a irrigação e adubação com vinhaça. Isso garante benefícios à produção agrícola, uma vez que pode representar a substituição parcial da adubação mineral. Por apresentar uma enorme carga de material orgânico, a vinhaça também é responsável por um aumento considerável na produtividade dos solos, sentida com maior intensidade em solos que naturalmente são mais pobres, como os Neossolos quartzarênicos, ou em regiões mais secas.

Considerando as possíveis alterações que a vinhaça produz ao ser aplicada no solo, principalmente a sua interação com a MO, o estudo do COT em agroecossistemas é um tema estratégico para que se alcance a sua sustentabilidade, e também a agricultura bem manejada.

Os estudos de compartimentalização do carbono no solo são úteis, pois identificam os compartimentos orgânicos do solo através de técnicas de fracionamento do carbono, que possibilitam o isolamento da MO associada a um determinado tamanho de partícula mineral (areia, silte ou argila). O fracionamento físico granulométrico é um procedimento de separação da MO associada à fração mineral, sendo possível também mensurar a quantidade de CO em cada fração (DIEKOW, 2003).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar a contribuição da vinhaça na qualidade de solos de diferentes texturas e cultivados com cana-de-açúcar, por meio da determinação das alterações nos atributos físico-químicos dos solos e no teor de CO associado à fração mineral do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Vinhaça - origem e composição

A vinhaça, também conhecida como vinhoto, calda, tiborna, restilo, garapão, vinhote, caxixi e mosto, constitui-se no principal efluente das destilarias de álcool (REZENDE, 1984). A sua composição varia em função da matéria prima e operação dos aparelhos de destilação. (STUPIELLO, 1987; CORTEZ; MAGALHÃES; HAPP, 1992; BUZOLIN, 1997).

A vinhaça é um líquido derivado da destilação do vinho, que é resultante da fermentação do caldo da cana-de-açúcar ou melaço (CETESB, 2006). O seu poder poluente é cerca de cem vezes maior do que o do esgoto doméstico, e provém da sua riqueza em MO, baixo pH, elevada corrosividade e altos índices DBO entre 20.000 à 35.000 (ROSSETO, 1987), além de elevadas temperaturas ao sair dos destiladores (FREIRE; CORTEZ, 2000). A quantidade despejada pelas destilarias pode variar de 10 a 18 L de vinhaça por litro de álcool produzido, dependendo das condições tecnológicas da destilaria. A temperatura da vinhaça que sai dos aparelhos de destilação é de 85 a 90 °C (ROSSETTO, 1987).

Os constituintes da vinhaça são MO, cátions como o K^+ , Ca^{2+} , e Mg^{2+} , e a sua riqueza nutricional está ligada à origem do mosto (Tabela 1).

Tabela 1. Características da vinhaça resultante de mostos de melaço, de caldo de cana e de mostos mistos. Fonte: adaptado de Sopral (1986).

Parâmetro	Melaço	Caldo	Mosto
pH	4,2 - 5,0	3,7 - 4,6	4,4 - 4,6
Temperatura	80 - 100	80 - 100	80 - 100
DBO (mg/L O ₂)	25000	6000 - 16500	19800
DQO (mg/L O ₂)	65000	15000 - 33000	45000
Sólidos totais (mg/L)	81500	23700	52700
Sólidos voláteis (mg/L)	60000	20000	40000
Sólidos fixos (mg/L)	21500	3700	12700
Nitrogênio (mg/L N)	450 - 1600	150 - 700	480 - 710
Fósforo (mg/L P ₂ O ₅)	100 - 290	10 - 210	9 - 200
Potássio (mg/L K ₂ O)	3740 - 7830	1200 - 2100	3340 - 4600
Cálcio (mg/L CaO)	450 - 5180	130 - 1540	1330 - 4570
Magnésio (mg/L MgO)	420 - 1520	200 - 490	580 - 700
Sulfato (mg/L SO ₄ ²⁻)	6400	600 - 760	3700 - 3730
Carbono (mg/L C)	11200 - 22900	5700 - 13400	8700 - 12100

Tabela 1. Características da vinhaça resultante de mostos de melação, de caldo de cana e de mostos mistos. Fonte: adaptado de Sopral (1986) (continuação)

Parâmetro	Melão	Caldo	Mosto
Relação C/N	16 - 16,27	19,7 - 21,07	16,4 - 16,43
Matéria orgânica (mg/L)	63400	19500	38000
Substâncias redutoras (mg/L)	9500	7900	8300

2.2 Problemática ambiental solo-vinhaça

Durante décadas a principal destinação dada para a vinhaça ou vinhoto estava diretamente vinculada aos corpos hídricos, sem qualquer preocupação com o seu efeito sobre o ambiente aquático. Porém, mesmo quando a vinhaça era gerada em proporções muito inferiores as atuais ela já provocava nos órgãos de controle ambiental e na comunidade científica alguma preocupação quanto a seus impactos ambientais.

Os primeiros trabalhos desenvolvidos no sentido de buscas alternativas para descarte e/ou tratamento da vinhaça marcam as décadas de 40 e 50, como os trabalhos de Almeida (1950 e 1955), época em que o resíduo ainda era função de despejo nos mananciais de superfície.

Até o final dos anos 70, volumes crescentes de vinhaça eram lançados nos mananciais superficiais proporcionando a proliferação de microorganismos decorrente do esgotamento de oxigênio dissolvido na água, destruindo a flora e a fauna aquáticas e dificultando o abastecimento de água potável. Além do mau cheiro, Szmrecsányi (1994) alerta para o agravamento de endemias como a malária, a amebíase e a esquistossomose.

Os constantes lançamentos da vinhaça nos corpos hídricos eram realizados de forma sazonal, obedecendo ao ciclo de produtividade do álcool. Esta prática foi à fonte de toda problemática, uma vez que acabava por afetar as funções de auto-regulação e auto-reprodução dos ecossistemas.

Após a Portaria MINTER n.º 323, de 29 de novembro de 1978 (BRASIL, 1978), que proíbe, a partir da safra 1979/1980, o lançamento direto ou indireto do vinhoto (vinhaça) em qualquer coleção hídrica, e obriga as destilarias a apresentar projetos para implantação de sistemas de tratamento e/ou utilização da vinhaça, surge uma nova prática considerada mais adequada para destinação deste material: a fertirrigação.

Nesse caso, o solo passa a ser o elemento do ecossistema melhor adaptado para a destinação final da vinhaça, e pesquisas indicaram os benefícios do aproveitamento desse resíduo como fonte de potássio e MO, e com isso, a vinhaça deixa de ser considerada o principal agente de poluição dos cursos de água (FERREIRA; MONTEIRO, 1987; CAMARGO *et. al.*, 1988; RIDESA, 1994).

Poucos estudos avaliaram o real potencial poluidor da vinhaça sobre o solo e lençol freático (LYRA *et. al.*, 2003) já que, em virtude dos elevados níveis de MO e nutrientes, principalmente potássio, quase toda destilaria brasileira tem adotado sua utilização na fertirrigação de plantações de cana-de-açúcar (CUNHA *et. al.*, 1981).

2.3 Impactos da vinhaça nas propriedades físico-químicas do solo

Por ser um resíduo com alto valor fertilizante, a vinhaça passou a ser aplicada nas lavouras de cana-de-açúcar, uma vez que a sua utilização pode promover a adição de nutrientes ao solo, elevar a umidade, o teor de MO e o pH, além de melhorar a resistência do solo à erosão, resultando no aumento da produtividade agrícola (CAMBUIM, 1983).

A utilização de resíduos da indústria, como a vinhaça, já é rotina em muitas regiões canavieiras do país, o estado de Mato Grosso conta com a participação dessas usinas espalhadas nos seguintes municípios **Alcopan** -Poconé; **Araguaia** – Confresa; **Barrálcool** - Barra do Bugres; **Cooperb** - Lambari do Oeste; **Cooperb II** - Mirassol do Oeste; **Coprodia** - Campo Novo do Parecis; **Itamarati** - Nova Olímpia; **Jaciara** – Jaciara; **Juara** - Fazenda Janba, Juara; **Libra** - São José do Rio Claro; **Novo Milênio** - Unidade Lambari D'Oeste; **Novo Milênio** - Unidade Mirassol D'Oeste; **Pantanal** - Fazenda Santa Fé, Jaciara; **Santa Rita II** - São Félix do Araguaia; **USIMAT** - Campos de Júlio sendo notório o aumento na produção de cana-de-açúcar. Segundo Torquato (2006), a área estimada para as safras 2015/16 deve ser de 12,2 milhões de hectares, que serão responsáveis por produzir uma média de 36 bilhões de litros de álcool, esse valor representaria um aumento de mais de 50% na área plantada de cana-de-açúcar no Brasil..

A vinhaça adicionada ao solo pode promover melhorias em sua fertilidade natural. Porém, as quantidades de aplicação devem ser regularmente controladas com dosagens mensuradas de acordo com as características de cada solo, não

devendo ultrapassar sua capacidade de retenção de íons. Quando não se tem o controle adequado desta aplicação, pode ocorrer o desbalanceamento dos elementos minerais e orgânicos, gerando assim processos como a lixiviação de vários desses íons, sobretudo do nitrato e do potássio. Alterações nas propriedades químicas de solos que receberam vinhaça já foram estudadas por Madejón (2001) e Canelas (2003), e, em áreas não queimadas, por Mendoza *et. al.* (2000). No entanto, nesses estudos, foi considerado um tempo relativamente curto da adoção desses sistemas de manejo do solo.

De acordo com Glória e Orlando Filho (1984), os principais estudos relacionados à aplicação de vinhaça ao solo dizem respeito aos seus efeitos nas propriedades químicas, havendo geralmente um aumento na disponibilidade de nutrientes e na CTC do solo. Nunes *et. al.* (1981) verificaram aumentos significativos nos teores de cálcio, magnésio e potássio trocáveis, bem como diminuição dos teores de alumínio trocável em solos que receberam vinhaça. A concentração de sais na vinhaça, no entanto, pode alterar os valores de CE do solo (SENGIK *et. al.*, 1988).

A aplicação da vinhaça ao solo também pode alterar as suas propriedades físicas, como a estabilidade de agregados e a dispersão de argila do solo. Camargo *et. al.* (1988) mostram que a sua aplicação no solo por longo tempo melhora a estrutura, pelos seus efeitos na agregação do solo, principalmente na redução do teor de argila dispersa em água e aumento do diâmetro médio dos agregados do solo.

Segundo os autores, estes resultados estão relacionados à maior atividade microbiana e conseqüente maior produção de mucilagens, que atuam como agentes ligantes para formação e estabilização dos agregados do solo. A maior atividade microbiana em solos com vinhaça foi verificada por Leal *et. al.* (1983), onde enfatizam que os microorganismos utilizam os compostos orgânicos deste resíduo como fontes de carbono. Silva e Silva (1986) afirmam que, do ponto de vista físico, a ação direta da vinhaça aumenta a resistência à erosão, aglutinando as partículas do solo e melhorando a porosidade.

Devido à sua temperatura elevada, à alta concentração de material orgânico, alto teor de sólidos em suspensão e pH baixo entre 4,3 à 5,0 (REZENDE, 1984), a vinhaça precisa ser tratada antes de seu uso na irrigação (MEDEIROS *et. al.*, 2003).

Eventuais efeitos maléficos causados ao solo ou às plantas, decorrentes de doses excessivas de vinhaça, foram relatados por vários autores (CAMARGO *et. al.* 1983, GLÓRIA; ORLANDO FILHO, 1983; FERREIRA; MONTEIRO, 1987).

2.4 A matéria orgânica (MO) e seus efeitos no solo

O constituinte principal da vinhaça é a MO, basicamente sob a forma de ácidos orgânicos, e sua riqueza nutricional está ligada à origem do mosto: quando se parte de mosto de melão, a vinhaça apresenta maiores concentrações em MO, potássio, cálcio e magnésio; já no mosto de caldo de cana, como é o caso de destilarias autônomas, a concentração desses elementos decaem consideravelmente (ROSSETTO, 1987).

No momento em que a MO contida na vinhaça é incorporada ao solo, ela é colonizada por fungos, os quais a transformam em húmus, neutralizando a acidez do meio e favorecendo a proliferação bacteriana. Assim, quando adicionada como fertilizante, a vinhaça favorece também o desenvolvimento de microrganismos que atuam na mineralização e imobilização do nitrogênio e na sua nitrificação, desnitrificação e fixação biológica, bem como de microrganismos participantes dos ciclos biogeoquímicos de outros elementos (SILVA *et. al.*, 2007).

O conteúdo e a qualidade da MO constituem atributos dos solos que podem ser utilizados para avaliar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. O uso da distribuição relativa das frações de MO, como indicador da mudança de manejo do solo ou da qualidade do ambiente, encontra respaldo nos trabalhos de Schnitzer e Khan (1978), Kononova (1982) e Schnitzer (1991).

Em sua constituição química, a MO é considerada uma fonte de cargas negativas nos solos e sua manutenção é muito importante para a retenção de cátions no solo (WOLF; SNYDER, 2003). Para as propriedades físicas do solo, a importância da MO se baseia na sua participação como agente cimentante na agregação do solo, influenciando de forma direta na retenção de água, no arejamento, na penetração das raízes e na resistência à erosão (SCHOLLES *et. al.*, 1994; CRASWELL; LEFROY, 2001; JIAO *et. al.*, 2006).

Por isso, o manejo do solo visando à manutenção dos resíduos vegetais e/ou adição de resíduos orgânicos provenientes da agroindústria (vinhaça, resíduo de

suinocultura, cama-de-frango, etc.), pode proporcionar maior produção de ácidos orgânicos no solo, conseqüentemente melhor fertilidade e sustentabilidade agrícola (SILVA; RIBEIRO, 1995).

2.5 Fracionamento da Matéria Orgânica do solo

A MO pode estar presente no solo como partículas orgânicas livres ou ligadas às superfícies dos agregados ou com SHs ou não húmicas, associadas à fração mineral de diferentes tamanhos de partículas (CHRISTENSEN, 2000).

A qualidade da MO pode ser avaliada por meio da distribuição do CO entre as frações granulométricas do solo (FELLER, 1975), bem como nos tipos de SHs predominantes (DABIN, 1976). Para tanto, se utilizam técnicas de fracionamento físico ou químico para determinar a qualidade da MO adicionada ao solo ou proveniente de sistemas naturais.

Os diversos métodos de fracionamento da MO são baseados principalmente na matriz mineral, (fracionamento físico por tamanho de partículas), no seu grau de associação com a fração mineral (fracionamento físico por densidade) ou nas características de solubilidade dos compostos orgânicos (fracionamento químico) (PILLON, 2000).

Os métodos de fracionamento físico da MO podem ser classificados como métodos granulométricos (CAMBARDELLA; ELLIOT, 1992), densimétricos (GOLCHIN *et. al.* 1994b) ou uma mistura de ambos (SIX *et. al.* 1998).

O método de fracionamento físico granulométrico utilizado neste estudo tem como princípio a separação da MO alocada nos compartimentos: fração areia (MO grosseira) e fração silte+argila (MO associada) por meio da dispersão e peneiramento (GOLCHIN *et. al.*, 1994b).

A fração areia está associada a MO livre ou lábil, desempenhando importante função na ciclagem de nutrientes do solo (CONCEIÇÃO *et. al.*, 2005). As frações silte e argila estão associadas à maior parte do CO dos solos, na fração não lábil, sendo um material mais transformado e amorfo sem estrutura reconhecível de materiais vegetais ou da meso e microfauna (ROSCOE; MACHADO, 2002).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado na Usina Pantanal de Açúcar e Álcool Ltda., localizada na rodovia BR 364, km 307, Fazenda Santa Fé, situada nas coordenadas 15°55'30"S e 55°13'47"W (Figura 1). A usina Pantanal explora as suas atividades agrícolas em 20 mil hectares localizados no município de Jaciara, Mato Grosso. Ela funciona desde o ano de 1995, com uma produção diária de 17 mil sacas de açúcar e 450 mil litros de álcool hidratado (GRUPO NAOUM, 2009).



Figura 1. Imagem do local do estudo a Usina Pantanal de Açúcar e Álcool

Fonte: Imagem Google Earth 2011

3.2 Área de Coleta

As áreas selecionadas de cultivo de cana-de-açúcar são fertirrigadas com vinhaça por meio de canhão autopropelido com carretel enrolador, e são compostas por dois solos de classes texturais diferentes, classificados como Neossolo Quartzarênico (textura arenosa) e Latossolo Vermelho-Amarelo (textura argilosa) (Figura 2 e 3). A caracterização dos solos foi realizada no Laboratório de Análise de Solos do Departamento de Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) por Fava (2008).



Figura 2. Perfil de um Neossolo Quartzarênico.



Figura 3. Perfil de um Latossolo Vermelho-Amarelo

O delineamento experimental foi composto pelos solos de diferentes texturas, coletados em três áreas: CER, C4 e C8.

Foram abertas mini-trincheiras de um metro quadrado de forma aleatória, na profundidade de 0-20 cm. O solo com 8 anos de aplicação de vinhaça foi coletado em pontos na bordadura (local onde não há cana), e o 4 anos de aplicação dentro da área da cana colhida.

3.3 Análise estatística

Foi realizada empregando-se o programa SPSS Statistics 16.0 e o Excel 2007 for Windows. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva (média, desvio-padrão), e as variáveis significativas submetidas à análise de correlação de Pearson com os atributos dos solos.

3.4 Análises físico-químicas do solo

As análises foram efetuadas no Laboratório de Análise de Solos do Departamento de Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) campus Cuiabá por Fava (2008), em amostras de solo dos horizontes superficiais, secas ao ar, destorroadas e peneiradas em tamiz de malha de 2 mm.

Foram determinados na terra fina seca ao ar (TFSA), seguindo as metodologia da Embrapa (1997) e de Camargo *et al.* (1986), os seguintes atributos:

- a. pH em água na relação solo:solução 1:2,5 (m:v) pelo método potenciométrico;
- b. Carbono orgânico total (g kg^{-1}) por oxidação da matéria orgânica com solução de dicromato de potássio na presença de ácido sulfúrico, e titulação do excesso de dicromato com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal (método de Walkey-Black);
- c. Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ trocáveis por extração com solução de KCl 1 mol L^{-1} e determinados por volumetria de complexação com EDTA a $0,01 \text{ mol L}^{-1}$. O K^+ e Na^+ foram extraídos com extrator Mehlich e determinados por Fotometria de Chama.
- d. Al^{3+} trocável, extraído com solução de KCl 1 mol L^{-1} e determinado por titulação de neutralização com solução de NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$.
- e. Acidez potencial (H+Al) determinada por extração com acetato de cálcio pH 7,0 e titulação de neutralização com NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$, relação solo-solução 5: 75 (m:v).

- f. Análise granulométrica pelo método da pipeta, empregando-se NaOH 1 mol L⁻¹ como dispersante químico e submetendo à agitação mecânica “over night”, por 16 horas.
- g. Condutividade elétrica por condutimetria (mS cm⁻¹).
- h. Nitrogênio total por destilação Kjeldahl.

A partir dos teores obtidos nos itens c, d, e obtiveram-se os valores da Soma de Bases – SB, da capacidade de troca catiônica total - CTC, da saturação por alumínio - m% e da saturação em bases - V%, utilizando as equações:

$$SB \text{ (cmol}_c \text{ kg}^{-1}) = Ca + Mg + K$$

$$CTC \text{ (cmol}_c \text{ kg}^{-1}) = SB + Al + H$$

$$m \text{ (\%)} = (Al^{3+} / CTC) \times 100$$

$$V \text{ (\%)} = (SB/CTC) \times 100$$

3.5 Fracionamento físico do Carbono Orgânico do solo

O fracionamento físico do carbono contido na MOS foi determinado pelo método de Cambardella e Elliott (1992) nos horizontes superficiais dos solos, e envolveu dois processos: dispersão mecânica em banho ultrassônico e peneiramento a úmido. Essa determinação foi realizada no Laboratório de Solos do IFMT, campus Cuiabá Bela Vista.

A dispersão em meio aquoso foi realizada em amostras de 20 g de TFSA suspensa em água destilada, colocadas em banho termostaticado ultrassônico (a 240 Watts) durante seis minutos.

Após esse período, a suspensão de solo foi passada em peneira de malha de 0,053 mm, obtendo-se a fração areia (> 0,053 mm, retida na peneira) e a fração associada ao silte+argila (< 0,053 mm, passou pela peneira) (Figura 4).

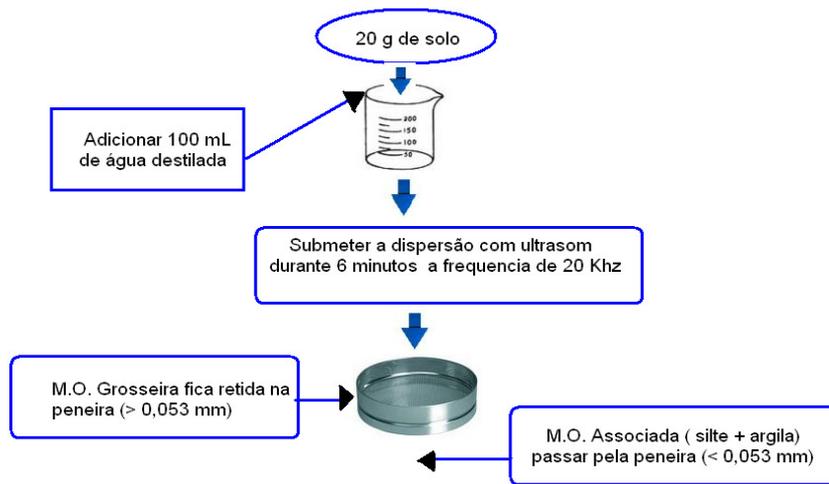


Figura 4. Representação esquemática do fracionamento físico granulométrico realizado nas amostras de solo.

As frações granulométricas obtidas foram secas em estufa de circulação de ar à temperatura de 50°C, até peso constante, para obtenção do percentual de cada fração em relação à massa total da amostra. Após secagem, as frações foram maceradas em almofariz de porcelana e acondicionadas em sacos plásticos para determinação do COT (Figura 5). Todas as determinações foram feitas em duplicata.



Figura 5. Fracionamento granulométrico e as frações obtidas antes e após a secagem.

Os procedimentos para a determinação do carbono orgânico nas frações granulométricas do solo foram feitos no material retido em cada peneira (fração grosseira) e no material que passou pela peneira (fração fina), pelo método descrito em Yeomans e Bremner (1988), que consistiu em digerir 0,5 g de cada fração seca em estufa em 5 mL de $K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol L⁻¹ e 7,5 mL de H_2SO_4 concentrado, por 30 minutos a 170°C, em bloco digestor. (Figura 6)

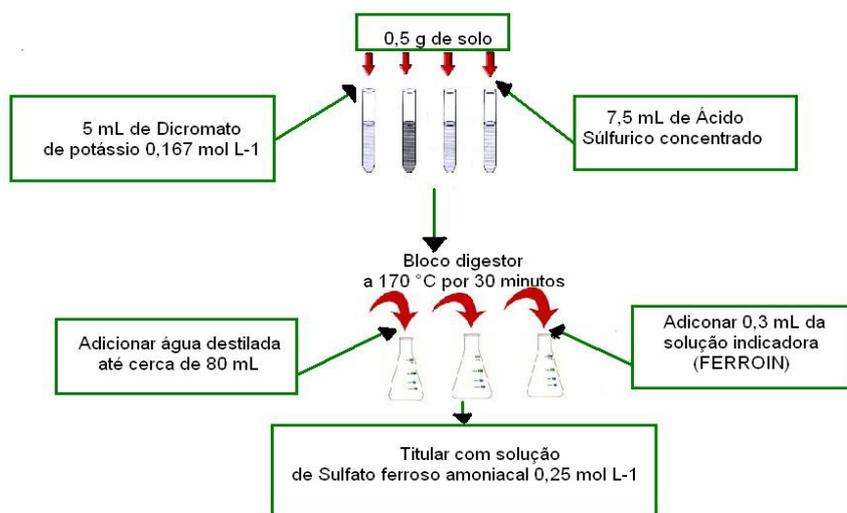


Figura 6. Representação esquemática da determinação do COT nas amostras.

Após o resfriamento à temperatura ambiente, os extratos foram transferidos para Erlenmeyers de 250 mL, utilizando-se água destilada suficiente para um volume final de até 80 mL. Em seguida adicionou-se 0,3 mL de solução indicadora de ferroin em cada Erlenmeyer, procedendo-se a titulação com solução de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 0,20 mol L⁻¹ (sal de Mohr). (Figura 7)



Figura 7. Determinação do Carbono Orgânico Total das amostras.

Paralelamente, foram realizadas provas em branco, com e sem aquecimento. Todas as determinações foram feitas em duplicata.

O teor de CO no solo nas frações foi obtido pela equação:

$$CO = \frac{[(V_{ba} - V_{am})(V_{bn} - V_{ba}) / V_{bn}] + (V_{ba} - V_{am})[M](3)(100)}{M_s} \quad (\text{eq. 1})$$

Onde:

CO = carbono orgânico (%);

V_{ba} = volume gasto na titulação do branco aquecido (mL);

V_{bn} = volume gasto na titulação do branco sem aquecimento(mL);

V_{am} = volume gasto na titulação da amostra (mL);

[M] = molaridade do sulfato ferroso (mol/L);

M_s = massa da amostra de solo (mg).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Alterações nos atributos físico-químicos dos solos com aplicação da vinhaça

O Neossolo Quartzarênico é a principal classe de solos arenosos do Brasil, correspondendo a cerca de 11% da área do país e 15% da área do cerrado (EMBRAPA, 1981). Esses solos são geralmente profundos, com textura arenosa, constituídos principalmente de quartzo (SiO_2), basicamente pobres em nutrientes para as plantas e sua estrutura é fraca (CORREIA *et. al.*, 2004).

Os Latossolos são solos em avançado estágio de intemperismo, muito evoluídos, profundos, bem drenados, típicos de regiões equatoriais e tropicais. Possuem boas condições físicas em condições naturais, aliado ao relevo plano ou suavemente ondulado, presentes em extensas áreas cultivadas no Brasil (cerca de 33%). Possuem alto teor de argila (até 800 g kg^{-1}), boa infiltração de água, porosidade e aeração, e pequena densidade do solo em seu estado natural, devido à sua agregação (AZEVEDO; BONUMÁ, 2004).

Os resultados das análises físico-químicas do Neossolo e do Latossolo com vinhaça estão listados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados das análises físico-químicas das amostras do solo

Amostras de solo	pH	Al^{3+}	H+Al	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	SB	CTC	V	m	CE	CO	N	AT	AG	AM	AF	AMF	Silte	Argila
		$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$									%		mS cm^{-1}	g kg^{-1}							
NV4	7,1	NC*	1,0	3,8	2,3	0,3	1,2	7,3	7,1	86	0,7	9,4	8,5	5,6	638	3	24	178	433	167	195
NV8	4,8	0,1	5,9	1,6	1,8	0,2	0,6	4,0	9,3	37	2,9	8,2	9,3	5,6	671	1	36	209	426	134	195
LV4	4,6	0,2	6,0	0,4	1,2	0,3	1,1	2,7	7,6	21	10,0	5,8	9,9	1,4	438	2	20	154	262	167	395
LV8	4,6	0,2	5,3	1,2	1,4	NC*	0,4	3,0	7,9	33	6,9	10,8	14,7	2,8	471	NC*	27	189	256	67	462
CER	4,0	1,3	5,6	1,7	1,6	0,3	1,7	5,0	9,02	38	4,3	7,1	5,2	2,0	705	-	-	-	-	117	130

Analisando-se os valores de **pH** dos solos com e sem vinhaça, observa-se aumento em todas as amostras fertirrigadas, quando comparado com os valores pH do CER, especialmente no NV4 (pH = 7,1), onde a acidez potencial (H+Al) é baixa e o Al³⁺ ausente (Tabela 2). O aumento do pH pode ser atribuído aos manejos do solo, como a calagem e o uso de vinhaça, principalmente na camada superficial do C4, onde a mesma se encontra com uma baixa acidez potencial (Tabela 3). Devido à vinhaça ser um resíduo líquido muito ácido pH entre 4,3 à 5,0 (REZENDE,1984) acreditava-se que quando aplicada ao solo, seu efeito seria o aumento da acidez. Carneiro *et. al.* (2004) observaram que a vinhaça aplicada ao solo promoveu a elevação do pH do solo, com a conseqüente precipitação do Al³⁺ presente na camada de 0-5 cm.

Gloria e Orlando Filho (1983) afirmam que sempre existe uma elevação no pH dos solos tratados com vinhaça, mas que com o decorrer dos anos, o pH volta à condição original, tal como observado nos solos tratados com vinhaça há 8 anos (NV8 e LV8). Esse comportamento também pode ser visualizado com relação à acidez potencial (H+Al) dos solos em estudo.

Essas variações no pH eram esperadas, já que a dose de vinhaça exerce grande influência na mudança de pH. Embora muitos trabalhos() mostrem uma tendência geral quanto à diminuição da acidez do solo tratado com vinhaça, deve-se ressaltar que esse efeito é dependente do tempo transcorrido após a aplicação do resíduo (PEREIRA *et. al.*, 1992).

O **Ca+Mg** apresenta teores mais elevados também em NV4, superando os valores encontrados no CER, o que implica em maior fertilidade no solo fertirrigado (Tabela 2). Provavelmente isso se deve à elevação do pH do solo com a aplicação de calcário antes da vinhaça, que libera as cargas negativas da fração argila, retendo maior quantidade de cátions trocáveis. Isso pode ser demonstrado pela correlação positiva e significativa entre o Ca²⁺ e o Mg²⁺ e o pH dos solos (r = 0,96 e 0,89, respectivamente).

Com relação ao **Na⁺**, os teores não diferem significativamente entre os tratamentos. Já a concentração do **K⁺** no NV4 e LV4 teve a mesma tendência, entretanto, seus teores são menores do que no CER. Isso não está concordante com Carneiro *et. al.* (2004), pois segundo os autores, a vinhaça possui elevado teor de K⁺, e o seu uso aliado aos diferentes períodos de incubação aumenta o teor no

solo, principalmente ao longo do perfil. Os sais de K, por sua solubilidade, podem prejudicar as sementes em germinação, pois quando usados em grandes doses, aumentam demasiadamente a pressão osmótica da solução do solo nas proximidades do local de aplicação e diminui a população de planta (PEREIRA *et. al.*, 1992). Por causa disso, é necessária a diluição da vinhaça e, se forem aplicadas doses relativamente altas, deve-se parcelar essas doses.

A **SB** é maior no tratamento com 4 anos de vinhaça, principalmente no Neossolo. Esse resultado é diretamente proporcional aos teores de Ca e Mg ($r = 0,99$ e $0,98$, respectivamente). E **V%** por tem comportamento semelhante à SB, apresentou valores que atingiram níveis desejados na camada superficial do Neossolo com 4 anos de vinhaça, ultrapassando a 50% ($V_{NV4} = 86\%$), o que atribui à vinhaça e à calagem a liberação de nutrientes essenciais às plantas, mesmo em solo de textura arenosa como o Neossolo.

A maior **CTC** foi observada no NV8 e no CER, mostrando que os cátions ácidos (H+Al) foram os elementos que mais influenciaram no resultado, fato comprovado pela correlação positiva entre as variáveis ($r = 0,65$). A elevação da CTC ocorre pelo grande aporte de MO, representado pelas adições da vinhaça. Pela característica coloidal da MO contida na vinhaça, a sua adição confere ao solo uma maior quantidade de cargas negativas, diminuindo a lixiviação de cátions e aumentando conseqüentemente a CTC (GLÓRIA; ORLANDO FILHO, 1983).

Os valores de **m%** foi menor em NV4, e inversamente proporcional ao pH do solo ($r = -0,61$). Com o cultivo da cana, a provável diminuição de m% se deve à calagem e à aplicação da vinhaça no solo, os quais são responsáveis pela neutralização da acidez trocável (KAMINSKI, 2000).

Os teores de **N** do solo também foram alterados de acordo com os sistemas de manejo utilizados no cultivo da cana-de-açúcar nos Neossolos Quartzarênicos. Entretanto, o uso da vinhaça não alterou significativamente os teores de **N** no Latossolo argiloso, em comparação com o CER, constatação também observada por Canellas *et. al.* (2003).

Os valores da relação **C/N** dos solos nas áreas estudadas variam de 1,5 a 7,1 mostrando a presença de MO estável ($C/N > 5,0$) somente nos Latossolos, provavelmente em função do maior teor de argila, que confere proteção física à degradação da MOS.

Os resultados indicam que o solo com maior teor de argila e 8 anos de aplicação de vinhaça (LV8) teve maior capacidade de reter os elementos responsáveis pela elevação da CE, possivelmente em razão da maior humificação da MO adicionada com a vinhaça e o maior teor de argila do solo. A **CE** nos solos com vinhaça é maior no CER, estando acima do limite considerado pela EMBRAPA (1997) para caracterizar o caráter salino ao solo ($CE > 4 \text{ mS cm}^{-1}$), o que pode ser prejudicial para o desenvolvimento da cana-de-açúcar.

Com relação à **textura** dos solos, os teores de argila são maiores em LV8. A AT teve maior valor no CER, com aproximadamente 70% de areia. Ao fracionar a AT, observa-se predomínio da AMF nos Neossolos. O teor de silte é semelhante nos solos com 4 anos de aplicação de vinhaça (NV4 e LV4).

4.2 Teor de carbono orgânico total (COT) dos solos

Nos solos de clima tropical são encontrados teores entre 1 a 5% de C dependendo das condições ambientais, textura do solo e tipo de vegetação. Sua dinâmica é bastante influenciada pelos mecanismos que controlam a ciclagem do C sendo importante contribuinte dos aspectos químicos e físicos do solo (ALBERS *et. al.*, 2008).

O teor de COT presente nas amostras é maior nos solos com maior tempo de aplicação do resíduo, nas duas classes texturais (LV8 e NV8) (Figura 8). Camilotti *et. al.* (2006) afirmam que a MO pode aumentar após sucessivas aplicações de vinhaça por um período maior que quatro anos, e Zolim *et. al.* (2008) observaram que o teor de CO do solo aumenta com o tempo de aplicação de vinhaça, apresentando algumas oscilações com o decorrer dos anos. Essas afirmações estão de acordo com os resultados obtidos neste estudo.

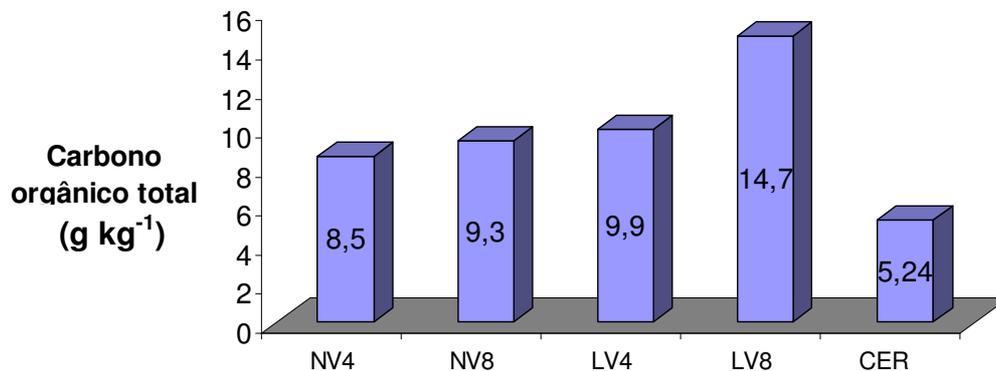


Figura 8. Teor de Carbono Orgânico Total (g kg^{-1}) no Neossolo e Latossolo com aplicação de vinhaça a 4 e 8 anos, e no cerrado.

O COT aumentou de 8,5 para 9,3 g kg^{-1} no Neossolo, durante o período de aplicação da vinhaça de 4 para 8 anos, enquanto que no Latossolo o acréscimo foi ainda maior, de 9,9 para 14,7 g kg^{-1} . Os valores encontrados demonstram a eficiência da vinhaça na retenção do carbono no solo, uma vez que se mantiveram sempre maiores que no CER.

Percebe-se também que esse incremento de carbono está diretamente ligado à classe textural do solo, pois quanto maior o teor de argila no solo, maior será a quantidade de carbono nele encontrado devido à associação entre a MO e a fração argila, conferindo proteção física da ao material orgânico da decomposição microbiana. Resultados semelhantes foram encontrados por Neves *et. al.* (2005), constatando que a perda do material orgânico na fração areia é devido à maior labilidade e suscetibilidade à oxidação e desintegração dos resíduos vegetais e hifas de fungos presentes nessa fração.

4.3 Matéria orgânica nas frações granulométricas dos solos

O teor de CO presente nas frações granulométricas dos solos é maior na fração associada ($< 0,053 \text{ mm}$) em ambos os tratamentos e no solo testemunha (Tabela 3). Tognon *et. al.* (2002) observaram que, à medida que aumenta o teor de argila do solo, aumenta o teor de MO. Carvalho (2006) afirma que a ação dos

agentes decompositores da MO é influenciada pelo teor de argila do solo, a qual aumenta a adsorção de compostos orgânicos e nutrientes e proporciona maior capacidade tampão do solo. Com isso, os solos com altos teores de argila apresentam maior imobilização de CO e N pela ação dos microrganismos, preservando a MO no solo.

Tabela 3. Teor de Carbono orgânico (g kg^{-1}) presente nas frações granulométricas dos Neossolos e Latossolos com aplicações de vinhaça a 4 (V4) e 8 (V8) anos e no Cerrado.

Amostra de solo	Carbono Orgânico Total (g kg^{-1})			
	Na fração grosseira (areia)	DP	Na fração associada (silte + argila)	DP
Neossolo V4	2,9	0.31	40,5	0.42
Neossolo V8	2,8	0.35	38,1	0.35
Latossolo V4	6,6	0.28	30,3	0.07
Latossolo V8	8,6	0.21	25,3	0.42
Cerrado	2,9	0.28	20,4	0

Isso está de acordo com o princípio de que a argila combina-se com a MO, ao contrário da fração areia, pelo mecanismo da proteção física e aumento da agregação do solo. Segundo Christensen (1992), o fracionamento físico enfatiza o papel das frações minerais na estabilização e transformação da MO.

No Neossolo Quartzarênico, o teor de carbono na fração grosseira não difere do CER e nem entre os tratamentos com 4 e 8 anos de aplicação de vinhaça (Tabela 3). Ao contrário, no Latossolo argiloso, o teor de carbono da fração grosseira é significativamente maior que no CER. Essa observação é suportada pela correlação positiva e significativa entre o COT e o teor de argila dos solos em estudo ($r = 0,92$), demonstrando forte associação entre a MO e a fração mais fina do solo.

Observa-se que embora o Latossolo apresente maior conteúdo de argila, a quantidade de carbono na fração associada (argila+silte) é menor do que no Neossolo Quartzarênico, nos dois tratamentos (4 e 8 anos). Como o Neossolo possui menor conteúdo de argila, esse comportamento provavelmente é resultante da maior dispersão das partículas do Neossolo, causando uma diminuição na

estabilidade dos seus agregados e expondo a MO, aumentando o teor de COT neste solo mais arenoso.

Já no Latossolo, mais argiloso, as partículas de argila mesmo sofrendo dispersão pelo ultrassom, não se desagregam facilmente, mantendo a MO protegida na fração fina, e conseqüentemente, menor teor de CO é detectado na fração associada ao silte+argila nesse solo.

Cabe ressaltar, portanto, que solos mais arenosos são mais susceptíveis ao manejo inadequado que pode causar dispersão de suas partículas, seja por adição de resíduos excessivamente salinos, calagem, gessagem ou adubação química, causando um “desprendimento” da MO protegida na fração mais fina do solo, tornando-a mais acessível à oxidação microbiana, e liberando o carbono para a atmosfera na forma de CO₂. Acredita-se que a oclusão física ou proteção de materiais orgânicos dentro da fração final do solo reduza a difusão de água, ar e/ou nutrientes, restringindo o ataque de microrganismos, assim como o acesso de enzimas (COLLINS *et.al.*, 1997; HASSINK E WHITMORE, 1997).

A rápida decomposição da MO da vinhaça quando atinge o solo já foi verificada por outros autores (TEDESCO *et. al.*, 1999). O resultado é o menor incremento no teor de carbono quando comparado os tratamentos a 4 e 8 anos de aplicação da vinhaça, especialmente no Neossolo Quartzarênico.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

1- O teor de CO foi maior nos solos fertirrigados com vinhaça, comparativamente ao solo sob vegetação natural, indicando que a prática de adição da vinhaça no solo pode ser considerada eficiente para reter o carbono no solo.

2- A maior concentração de CO está condicionada à fração argila, que é uma fração com maior potencial de retenção do material orgânico e menos lábil, favorecendo o acúmulo deste material na camada superficial.

3- Na escala temporal quanto maior o tempo de aplicação do resíduo no solo maior foi a contribuição deste para a sua fertilidade, independente da classe textural.

4- O Neossolo Quartzarênico, embora em condições naturais seja considerado um solo com baixa aptidão agrícola, quando fertirrigado com o resíduo vinhaça conseguiu manter-se em condições de fertilidade semelhantes ao solo de vegetação natural.

6. RECOMENDAÇÕES

1- A realização de um fracionamento químico nos solos estudos para maior compreensão da dinâmica do carbono, bem como a melhor indicação do efeito do manejo no solo.

2- Avaliar a quantidade de metais potencialmente tóxicos nos solos fertirrigados com vinhaça, a fim de se indicar possíveis contaminações causadas por processos de lixiviação deste material para as águas subterrâneas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALBERES, C. N.; BANTA, G. T.; JACOBSEN, O. S.; HANSEN, P. E. Characterization and structural modelling of humic substances in field soil displaying significant differences from previously proposed structures. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.59, n.4, p.693-705, 2008.
- ALMEIDA, J. R.; RANZANI, G. VALSECCHI, O. **O Emprego da Vinhaça na Agricultura**. Instituto Zimotécnico, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1950.
- ALMEIDA, J. R. **O Problema da Vinhaça**. Instituto do Açúcar e do Alcool, Rio de Janeiro, 1955.
- AZEVEDO, A.C.; BONUMÁ, A.S. **Partículas coloidais, dispersão e agregação em Latossolos**. Ci. Rural, 34: 609- 617, 2004.
- BAYER, C.; MIELNICZUC, J. Dinâmicas e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., Eds **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Gênese, 1999. p.9- 26.
- BRASIL. **Portaria MINTER n.º 323, de 29 de novembro de 1978. Proíbe, a partir da safra 1979/1980, o lançamento, direto ou indireto, do vinhoto (vinhaça) em qualquer coleção hídrica, pelas destilarias de álcool instaladas ou que venham a instalar no País**. Diário Oficial da União.
- BUZOLIN, P. R. S. **Efeitos da palha residual da colheita mecanizada, associada a fontes de potássio e doses de nitrogênio, no solo e nas socas de cana-de-açúcar**. Jaboticabal, 1997. P.98 (Mestrado). Universidade Estadual de São Paulo. "Júlio de Mesquita Filho".
- CAMARGO, O. C.; VALADARES, J. M. A. S.; GERALDI, R. N. **Características químicas e físicas de solo que recebeu vinhaça por longo tempo**. Boletim Técnico, Campinas, v.76, 1983.
- CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.; BERTON, R.S. et al. **Características físicas de solo que recebeu vinhaça**. Boletim Científico do Instituto Agrônomo, Campinas. v.14, 1988, 12 p.
- CAMARGO, O. A.; JACOMINE, P. K. T.; CARVALHO, A. P.; OLMOS, J. I. L. The brazilian classification of latosols. In: **International soil classification workshop: classification characterization and utilization of oxisols**, 8., Brasil, 1986. Proceedings. Rio de Janeiro: EMBRAPA: SMSS: AID: UPR, 1988, Part1. P. 190-199.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, p. 777-783, 1992.
- CAMBUIM, F. A. **A ação da vinhaça sobre a retenção de umidade, ph, acidez total, acumulação e lixiviação de nutrientes em solo arenoso**. Recife, 1983. 133p.

Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco.

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; MARQUES, M. O.; SILVA, A. R. DA; JÚNIOR, L. C. T.; NOBILE, F. O. DE. Atributos físicos de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar, após aplicações de lodo de esgoto e vinhaça. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.26, n.3, p.738-747, 2006.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; ROUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. **Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação de palhico e adição de vinhaça por longo tempo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.27, n. 5, p.935-944, 2003.

CARVALHO, J. L. N. **Conversão do Cerrado para fins agrícolas na Amazônia e seus impactos no solo e no meio ambiente**. 2006. 95f.. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP.

CARNEIRO, C. E. A.; FIORETTO, R.A.; FONSECA, C. B.; NEVES, C. S. V.; CASTRO, A. J. S. **Alterações químicas no solo induzidas pela aplicação superficial de palha de cana-de-açúcar, calcário e vinhaça**. Semina, Londrina, v. 25, n. 4, p. 265-272, 2004.

CERRI, C.C.; POLO, A.; ANDREAUX, F. & LOBO, M.C.; EDUARDO, B.P. **Resíduos orgânicos da agroindústria canavieira: 1. Características físicas e químicas**. STAB, Açúcar, Alcool e Subprodutos, Piracicaba, v.6, n.3, p.34-37, 1988.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo 2005**. São Paulo: 2006. 488 p.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractions of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Science**, New York, v.20, p. 1-90, 1992.

CHRISTENSEN, B. T. **Organic matter in soil- structure, function and turnover**. Copenhagen: University of Copenhagen, 2000. 95f. Ph.D. (Thesis)- Danish Institute of Agricultural Sciences, University of Copenhagen, Copenhagen, 2000.

CORTEZ, L. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; HAPP, J. Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. **Revista Brasileira de Energia**, v. 2, p. 111-146, 1992.

COLLINS, H. P.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T. Characterization of soil organic carbon relative to its stability and turnover. In: PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T.; COLE, C. V. (Ed.). **Soil organic matter in temperate agroecosystems: long-term experiments in North America**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 51-72.

CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.777-788, 2005.

CORREIA, J.B. *et al.* Solo e suas relações com o uso e o manejo. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: EMBRAPA, 2004, p. 29-61.

CRASWELL, E. T.; LEFROY, R. D. B. **The role and function of organic matter in tropical soils**. Nutrient Cycling in Agroecosystems, v.61, p.7-18, 2001.

CUNHA, R. C. A.; COSTA, A. C. S.; MASET FILHO, B.; CASARINI, D. C. P. **Effects of irrigation with vinasse and dynamics of its constituents in the soil: I – physical and chemical aspects**. Water Science Technology, v.19, n.8, p.155-165, 1981.

DABIN, B. **Curso sobre matéria orgânica do solo: análise dos compostos húmicos do solo**. Piracicaba : CENA, 1976. parte 1.

DIEKOW, J. **Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no sistema plantio direto**. 2003, 164 f. Tese (Doutorado)- Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ) **Sistema brasileiro de classificação de solos : 2ª aproximação**. Rio de Janeiro, 1981. 107p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA CNPS. Documentos, 1).

EMBRAPA. **Embrapa Cerrados: conhecimento, tecnologia e compromisso ambiental**. 2 ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005. 43p.

FAVA, F. F. **Alteração em alguns atributos de um neossolo Quartzarênico cultivado com cana-de-açúcar**. Cuiabá, 2008. P.42 Dissertação (Graduação em Agronomia). Universidade Federal de Mato Grosso.

FELLER, C. Une méthode application aux de frectionnement granulométrique de la matière organique des sols, sols tropicaux, à textures grossièrs, très pauvres em humus. Coh. ORSTOM: **Ser. Pédol**. Paris, v. 17 n.4 p. 339-346, 1975.

FERREIRA, E. S.; MONTEIRO, A. O. **Efeitos da aplicação da vinhaça nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo**. COPERSUCAR, São Paulo, p. 3-7, 1987. (Boletim Técnico 36).

FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 203 p.

GLÓRIA, N. A.; ORLANDO FILHO, J. **Aplicação de vinhaça como fertilizante**. São Paulo: Coopercucar, 1983. 38p.

GLORIA, N.; ORLANDO FILHO, J. **Aplicação de vinhaça: um resumo e discussões sobre o que foi pesquisado: Parte 1 e 2**. Álcool & Açúcar, Piracicaba, v.4, p.24-35, 1984.

GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J. O.; CLARKE, P. Study of free and occluded particulate organic matter in soils by solid state ¹³C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 32, p. 285-309, 1994b.

GRUPO NAOUM. Plano de recuperação judicial. 2009. Disponível em: <http://airtoncampos.com/recuperacoes/13/plano.pdf>. Acessado em: 20/05/2011 às 15:35hs.

HASSINK, J.; WHITMORE, A. P. A model of the physical protection of organic matter in soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, p. 131-139, 1997.

JIAO, Y.; WHALEN, J.K.; HENDERSHOT, W. H. **No-tillage and manure applications increase aggregation and improve nutrient retention in a sandy-loam soil**. Geoderma, v.134, p. 24-33, 2006.

KAMINSKI, J. **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. 123p.

KONONOVA, M.M. **Materia Orgánica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación**. Barcelona, Oikostau, 1982. 364p.

LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. Toposeqüência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.525-532, 2003.

MEDEIROS, S.C.L.; RIBEIRO, S.R.; CONEGLIAN, C.M.R.; BARROS, R.M.; BRITO, N.N.; DRAGONI SOBRINHO, G.; Tonso, S.; PELEGRINI, R. Impactos da agroindústria canavieira sobre o meio ambiente. In: **Fórum de Estudos Contábeis**, 3, 2003, Rio Claro, Anais... Rio Claro: UNICAMP, 2003.

MADEJÓN, E.; LOPEZ, R.; MURILLO, J. M.; CABRERA, F. Agricultural use of three (sugar-beet) vinasse composts: effect on crops and chemical properties of a Cambisol soil in the Guadalquivir river lley (SW Spain). **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 84, n.1, p.55-65, 2001.

MAGDOFF, F. **Building Soils for Better Crops: Organic Matter Management**. Lincoln: Univ. of Negraska Press, 1992. 433p.

MENDOZA, H.N.S.; LIMA, E.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, L.A.; CEDDIA, M.B. & ANTUNES, M.V.M. **Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 24:201-207, 2000.

NEVES, S., V., J.; FELLER., C., LARRÉ-LARROY, M.-C. Matéria orgânica nas frações granulométricas de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. Semina: **Ciencias Agrarias.** Londrina, v.26, n.1, p17-26, jan./mar.2005.

NUNES, M.R.; VELLOSO, A.C.X.; LEAL, J.R. Efeito da vinhaça nos cátions trocáveis e outros elementos químicos do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.16, p.171-176, 1981.

PEREIRA, J. P.; ALVARENGA, E. M.; TOSTES, J. R. P.; FONTES, L. E. F. **Efeito da adição de diferentes dosagens de vinhaça a um Latossolo vermelho-amarelo distrófico na germinação e vigor de sementes de milho.** Revista Brasileira de Sementes, vol. 14, no 2, p. 147-150, 1992.

PILLON, C. N. **Alterações no conteúdo e qualidade da matéria orgânica do solo induzido por sistemas de culturas em plantio direto.** 2000. 232 f. Tese (Doutorado)- Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

REZENDE, J. O. **Vinhaça: outra grande ameaça ao ambiente.** Revista Magistra, Cruz das Almas, V.1 Edição especial, 1984.

RIDESA, R. I. P. O. D. S. **Aspectos ambientais da aplicação de vinhaça no solo.** São Paulo: UFSCar, 1994. 67p.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica. Dourados:** Embrapa agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002.

ROSSETTO, A. J. Utilização agrônômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira. In: PARANHOS, S. B. (Ed.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização.** Campinas: Fundação Cargill, 1987. V.2, p. 435-504.

SCHOLES, M. C.; SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; SANCHEZ, P. A.; INGRAM, J. S. I.; DALAL, R. Soil fertility research in response to the demand for sustainability. P. 1-14 In: **The Biological Management of Tropical Soil Fertility.** WOOMER, P. L.; SWILFT, M. J. (Eds), Chichester, WestSussex, UK: John Wiley & Sons, 1994.

SCHNITZER, M. Soil organic matter: the next 75 years. **Soil Science**, 151: 41-58, 1991.

SCHNITZER, M.; KHAN, S.U. **Soil organic matter.** Amsterdam, Elsevier, 1978. 319p.

SILVA, M. S. L.; RIBEIRO, M. R. **Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar nas propriedades químicas de solos argilosos.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 30, n. 3, p. 389-394, 1995.

SILVA, M. A.; SILVA, G. L. **Utilização da vinhaça e demais efluentes líquidos.**In.: Seminário da Agroindústria Açucareira de PE. 3, Recife, 1986.

SILVA, A. A.; SILVA, P. R. F.; SUHRE, E.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M. L.; RAMBO, L. **Sistemas de cobertura de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão.** Ciência Rural, v. 37, n. 4, p. 928-95, 2007.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K.; DORAN, J. W. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, p. 1367-1377, 1998.

SOPRAL. **Avaliação do Vinhoto como Substituto do Óleo Diesel e Outros Usos.** Coleção SOPRAL, n° 10. Sociedade de Produtores de Açúcar e Álcool – SOPRAL, São Paulo, 1986.

STUPIELLO, J. P. A. Cana-de-açúcar como matéria-prima. In: PARANHOS, S. B. (Ed.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização.** São Paulo: Fundação Cargill, 1987. V.2. cap.7, p. 761-804.

SZMRECSÁNYI, T. **Tecnologia e degradação ambiental: o caso da agroindústria canieira no Estado de São Paulo.** Informações Econômicas, 1994. 24(10):73-81

TEDESCO, M.J.; SELBACH, P.A.; GIANELLO, C. & CAMARGO, F.A.O. Resíduos orgânicos no solo e os impactos no ambiente. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo.** Porto Alegre, Genesis, 1999. p.159-196.

TONGNON, A.A.; J.L.I. DEMATTÊ; J.A.M. DEMATTÊ. Teor e distribuição da matéria orgânica em latossolos das regiões da floresta Amazônica e dos Cerrados do Brasil central. Piracicaba, SP. Scientia Agricola. 2002.

TORQUATO, Sérgio A. **Cana-de-açúcar para indústria: O quanto vai precisar crescer.** Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=7448>> . Acesso em 08 de Agosto de 2011.

WOLF, B.; SNYDER, G. H. **Sustainable soils. The place of organic matter in sustaining soils and their productivity.** New York: Ed. Food Products Press, 2003, 352 p.

YEOMANS, J.C.; BREMMER, J.M. **A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, 19:1467-1476, 1988.

ZOLIN, C.A.; PAULINO, J.; BERTONHA, A.; FREITAS, P.S.L.; JOSÉ, J.V.; RITZ, L.H. **Efeito da aplicação de vinhaça ao longo do tempo no teor de carbono orgânico do solo.** Disponível em: <<http://www.usp.br/siicusp/15Siicusp/4197.pdf>>. Acessado em: 16 de Julho de 2011.