



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATO GROSSO

CAMPUS CUIABÁ - BELA VISTA

DEPARTAMENTO DE ENSINO

CURSO DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

**FRACIONAMENTO QUANTITATIVO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS
EM SOLOS ARENOSOS SUBMETIDOS À APLICAÇÃO
PROLONGADA DA VINHAÇA.**

CLEBSON RODRIGUES DE JESUS MENDES

Cuiabá – MT

Março de 2012



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATO GROSSO

CAMPUS CUIABÁ - BELA VISTA

DEPARTAMENTO DE ENSINO

CURSO DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

**FRACIONAMENTO QUANTITATIVO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS
EM SOLOS ARENOSOS SUBMETIDOS À APLICAÇÃO
PROLONGADA DA VINHAÇA.**

CLEBSON RODRIGUES DE JESUS MENDES

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

Março 2012

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

M538f

MENDES, Clebson Rodrigues de Jesus

Fracionamento quantitativo de substâncias húmicas em solos arenosos submetidos à aplicação prolongada da vinhaça / Clebson Rodrigues de Jesus Mendes - Cuiabá, MT: O Autor, 2012.

42f.il.

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

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso. Campus Cuiabá – Bela Vista. Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental.

1. Matéria Orgânica. 2.Fertirrigação. 3. Fracionamento Químico. I. Coringa, Elaine de Arruda Oliveira. II. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso.

CDD: 631.45

CLEBSON RODRIGUES DE JESUS MENDES

**FRACIONAMENTO QUANTITATIVO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS EM SOLOS
ARENOSOS SUBMETIDOS À APLICAÇÃO PROLONGADA DA 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: 06 de Março de 2012

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

Março de 2012

DEDICATÓRIA

A Deus, pela vida, paz e tranquilidade em todos os momentos de minha vida. Aos meus Pais Jovando Correia Mendes e Joana Maria de Jesus Mendes, por me ensinarem valores e princípios. Ao meu inesquecível avô, Sr. Otávio Pedro de Jesus (em memória), figura de grande importância em minha formação e de quem sinto muitas saudades. Ao meu amigo de longa data, Darley Alves da Silva, que com compreensão e companheirismo me apoiou e me ajudou para que me sentisse confiante para superar momentos de indecisão. Por fim dedico também aos meus colegas de curso Cristovão Leite e Jacira Amaral que sempre foram e serão exemplos de caráter e dignidade.

AGRADECIMENTOS

O êxito da vida não se mede pelo caminho que conquistamos, mas sim pelas dificuldades que superamos. Durante estes três últimos anos muitas pessoas me ajudaram a superar os obstáculos encontrados. Dentre estas pessoas algumas se tornaram muito especiais, cada uma ao seu modo, seja academicamente ou pessoalmente; e seria difícil não mencioná-las.

Em especial gostaria de expressar meus agradecimentos à minha orientadora, Dr^a. Elaine de Arruda de Oliveira Coringa, pela confiança, e profissionalismo, que acima de tudo foi companheira, pois sem o seu envolvimento o trabalho não teria sido realizado. Obrigado pela paciência, pelos ensinamentos, aonde obtive as descobertas e aprendizados pela ciência do solo, e dedicação ao longo deste período, sempre contribuindo para transforma-me em um profissional cada vez melhor.

Agradeço aos Professores Dr^a. Adriana Paiva de Oliveira e MSc. Josias do Espírito Santo Coringa por aceitarem o convite para participar da banca examinadora e pelas sugestões/correções no trabalho.

Ao Grupo de Estudos de Resíduos e Matéria Orgânica no Solo, coordenado pela prof. Dr^a. Oscarlina L.S. Weber, pela cessão das amostras de solos adubadas com vinhaça, objeto deste estudo.

Em geral, agradeço a todo o quadro de professores do IFMT, campus Cuiabá-Bela Vista, pelos conhecimentos compartilhados, sendo para mim verdadeiros modelos de profissionais.

Agradeço também aos companheiros da vida laboratorial, Andréia, Aline e Milena pelo apoio e ajuda nos momentos de dificuldades. Aos discentes do Curso superior de Tecnologia em Gestão Ambiental que, além de se tornarem amigos me ensinaram a conviver com pessoas diferentes a mim, em especial a Tatiane de Souza Oliveira pela ajuda na realização deste trabalho.

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

“A matéria orgânica é tão vital para os solos como o sangue para os seres humanos – esta metáfora poderia ilustrar o risco que se corre pela negligência no manejo da matéria orgânica de solos tropicais.”

(MACHADO, 2001)

RESUMO

A fim de avaliar a qualidade da matéria orgânica proveniente da vinhaça, o objetivo deste trabalho foi realizar o fracionamento das substâncias húmicas de solos arenosos cultivados com cana-de-açúcar e fertirrigados com vinhaça. As amostras corresponderam à camada superficial do solo de mata, cerrado e com vinhaça, e foram analisadas quanto aos teores de carbono orgânico total (COT) e relativo às substâncias húmicas (SHs). Nos solos em estudo, o teor de COT aumentou durante o período de aplicação da vinhaça de 4 para 8 anos, demonstrando que a prática de adição da vinhaça no solo pode ser considerada eficiente para reter o carbono no solo. Ao analisar a distribuição do teor de COT das SHs, constatou-se que o fracionamento químico é eficiente para identificar que a maior parte do carbono está na forma de humina e ácidos húmicos. O grau de humificação da matéria orgânica foi maior nos solos com aplicação da vinhaça em comparação ao solo de cerrado, indicando que a aplicação do resíduo ao longo do tempo forneceu maiores quantidades de substâncias húmicas do que o solo em ambiente natural. A fração humina predominou em todos os perfis estudados, indicando a resistência desta fração à decomposição microbiana e a elevada interação desta fração com a porção mineral do solo. A comparação entre áreas de mata, cerrado e solos com vinhaça mostrou que houve alteração na distribuição das frações húmicas em função dos usos avaliados, ocorrendo diminuição dos teores de carbono das SHs em relação ao solo de mata.

Palavras-chaves: Matéria Orgânica, Fertirrigação, Fracionamento químico.

ABSTRACT

In order to assess the of organic matter from the vinasse, the objective of this study was the fractionation of humic sandy soils cultivated with sugar cane and fertirrigated vinasse. The samples corresponded to the topsoil of forest, cerrado and with vinasse, and analyzed for concentrations of total organic carbon (TOC) and on the humic substances (HSs). In the soil sample, the TOC content increased during the application of vinasse of 4 to 8 years, demonstrating that the practice of vinasse into the soil can be considered effective to retain the carbon in the soil. By analyzing the distribution of the HSs TOC content, it was found that the chemical fractionation is effective to identify most of the carbon is in the form of humic acid and humin. The degree of humification of OM was higher in soils with application of vinasse in comparison to the cerrado soil, indicating that the application of the residue over time provided greater amounts of humic substances in the soil in a natural environment. The humin fraction was predominant in all soil samples, indicating the resistance to microbial decomposition of this fraction and the fraction of high interaction with the mineral portion of soil. The comparison between areas of forest, cerrado and soils with vinasse showed that there was a change in the distribution of humic fractions on the basis of assessed usage, and decreased the carbon content of HSs in relation to forest soil.

Keywords: Organic Matter, Fertigation, Chemical Fractionation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Esquema do fracionamento químico das substâncias húmicas.....	16
Figura 2. Modelo proposto para a estrutura dos ácidos fúlvicos.....	17
Figura 3. Estrutura proposta para o ácido húmico.....	18
Figura 4. Representação esquemática da determinação do COT nas amostras.....	24
Figura 5. Representação esquemática do fracionamento químico simplificado de substâncias húmicas.....	25
Figura 6. Etapas realizadas durante o fracionamento químico simplificado de substâncias húmicas.....	26
Figura 7. Etapas realizadas durante a determinação do COT nas frações das substâncias húmicas.....	27
Figura 8. Teor de Carbono Orgânico Total (g.kg^{-1}) dos solos.....	29
Figura 9. Distribuição do carbono nas frações húmicas dos solos	31
Figura 10. Índice de Humificação da MO (%) dos solos.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores médios (desvio-padrão entre parênteses) dos teores de carbono nas frações das SHs, COT e as relações entre as frações de ácidos húmicos e ácidos fúlvicos (C-AH/C-AF), extrato alcalino e resíduo (EA/C-HUM) e o índice de humificação (IH) dos solos.....31

Tabela 2. Coeficiente de correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre os teores de carbono nas frações húmicas e o COT33

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AF= Ácido Fúlvico

AH = Ácido Húmico

C-AF= Carbono em Ácido Fúlvico

C- AH = Carbono em Ácido Húmico

C-HUM = Carbono em Humina

CE = Cerrado

CONAB = Companhia Nacional Abastecimento do Brasil

COT = Carbono Orgânico Total

CTC = Capacidade de Troca Catiônica

DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio

EA = Extrato Alcalino

EMBRAPA = Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

HUM = Humina

IH = Índice de Humificação

MA = Mata

MO = Matéria Orgânica

N4= Neossolo com 4 anos de Aplicação de Vinhaça

N8 = Neossolo com 8 anos de Aplicação de Vinhaça

pH = Potencial Hidrogeniônico

SFA = Sulfato Ferroso Amoniacal

SHs = Substâncias Húmicas

TFSA = Terra Fina Seca ao Ar

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 Importância da matéria orgânica (MO) para solos tropicais.....	15
2.2 Fracionamento de substâncias húmicas (SHs) no solo.....	15
2.3 Utilização da vinhaça na Fertirrigação do solo.....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1 Área de estudo.....	22
3.2 Amostragem e Tratamentos.....	22
3.3 Métodos.....	22
3.3.1 Determinação do Carbono Orgânico Total do Solo	23
3.3.2 Extração e Fracionamento Químico de SHs	24
3.3.3 Determinação do Carbono nas frações das SHs.....	26
3.4 Tratamento estatístico dos resultados.....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1 Teor de Carbono Orgânico Total dos Solos.....	29
4.2 Teor de Carbono nas Frações Húmicas da MO dos Solos.....	30
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

1. INTRODUÇÃO

As atividades agrícolas alteram as propriedades que definem a qualidade do solo. Essas alterações, decorrentes de práticas de manejo inadequadas, podem levar ao rápido declínio do estoque de matéria orgânica do solo em áreas tropicais e subtropicais (BAYER e MIELNICZUK, 1999; FREIXO et al., 2002). A manutenção da matéria orgânica é, portanto, fundamental para a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (MIELNICZUK et al., 2003).

A presença de nutrientes no solo é fundamental para garantir sua qualidade e adequado funcionamento, pois se o mesmo não fornecer nutrientes em níveis adequados para as plantas, estes deverão ser adicionados nas formas de sais ou de adubos orgânicos.

A vinhaça, principal resíduo gerado durante a destilação do álcool, é constituída principalmente de matéria orgânica, possuindo elevadas concentrações de nitrato e potássio, sendo muito utilizada em substituição à adubação mineral.

A vinhaça também conhecida como vinhoto, é muito utilizada pelas usinas de cana-de-açúcar na forma de fertirrigação, devido ao maior rendimento agrícola que esta proporciona à cultura e redução no uso de fertilizantes químicos. Entretanto, seu uso deve ser racional para que não cause prejuízo ao meio ambiente.

Segundo Rosenfeld (2003) o setor sucroalcooleiro utiliza os efluentes gerados, não apenas devido à crescente consciência ambiental, mas principalmente porque os efluentes possuem grande quantidade de nutrientes e matéria orgânica. Várias pesquisas indicaram os benefícios do aproveitamento desse resíduo na fertirrigação como fonte de potássio e de matéria orgânica (FERREIRA; MONTEIRO, 1987; CAMARGO *et al.*, 1988; RIDESA, 1994). Os nutrientes existentes nesses efluentes são provenientes da própria cana e em alguns casos são complementados com nitrogênio, fósforo e enxofre adicionados no processo industrial.

A adição de vinhaça, juntamente com a incorporação de matéria orgânica, pode melhorar as condições físicas do solo e promover maior mobilização de nutrientes, em função da maior solubilidade do resíduo líquido (NEVES et al., 1983).

Considerando as possíveis alterações que a vinhaça produz ao ser aplicada no solo, principalmente a sua interação com a matéria orgânica, o estudo das

substâncias húmicas em agroecossistemas é um tema estratégico para que se alcance a sua sustentabilidade.

Por isso, alternativas de fertilização com resíduos agroindustriais ricos em carbono, como a vinhaça, devem ser avaliadas com vistas à contribuição no teor de carbono e nutrientes no solo, bem como na qualidade das substâncias húmicas.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é realizar o fracionamento das substâncias húmicas de solos arenosos cultivados com cana-de-açúcar e fertirrigados com vinhaça, a fim de avaliar a contribuição do resíduo na qualidade da matéria da orgânica do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância da matéria orgânica (MO) para solos tropicais

A matéria orgânica do solo é toda fração orgânica presente no solo em forma de resíduo fresco ou em diversos estágios de decomposição, compostos humificados e materiais carbonizados, associados ou não à fração mineral, e outra parte composta por organismos vivos como raízes e os constituintes da fauna edáfica (ROSCOE; MACHADO, 2002). Ela atua na regulação de diferentes processos do solo, como a ciclagem e a disponibilidade de nutrientes, a solubilização de fertilizantes, a complexação de metais tóxicos, o poder tampão, o fluxo de gases para a atmosfera e a estabilidade de agregados.

O estudo da compartimentalização da matéria orgânica e sua relação com o manejo visa desenvolver estratégias para uma utilização sustentável dos solos, a fim de contribuir para a redução do impacto das atividades agrícolas sobre o ambiente, principalmente em regiões tropicais, onde as altas temperaturas podem contribuir para um declínio acelerado dos estoques de carbono orgânico (FREIXO et al., 2002).

Desta forma, acredita-se que a matéria orgânica 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. O uso como indicador da mudança de manejo do solo ou da qualidade do ambiente, foi comprovado por Schnitzer e Khan (1978), Kononova (1982) e Schnitzer (1991).

2.2 Fracionamento de substâncias húmicas (SHs) no solo

A matéria orgânica do solo pode ser dividida em dois grupos fundamentais. O primeiro é constituído pelos produtos da decomposição dos resíduos orgânicos e do metabolismo microbiano, como proteínas e aminoácidos, carboidratos simples e complexos, resinas, ligninas e outros. Estes compostos constituem aproximadamente, 10 a 15% da reserva total do carbono orgânico nos solos minerais. O segundo é representado pelas substâncias húmicas (SHs) propriamente

ditas, constituindo de 85 a 90 % da reserva total do carbono orgânico (KONONOVA, 1982; ANDREUX, 1996).

As substâncias húmicas compreendem uma mistura de espécies com variações em suas propriedades moleculares. Por esta razão, tem sido feito o fracionamento químico das SHs de acordo com suas propriedades para obter frações distintas com características similares. Geralmente as SHs são fracionadas em função de sua solubilidade em três principais frações, como mostra a Figura 1.

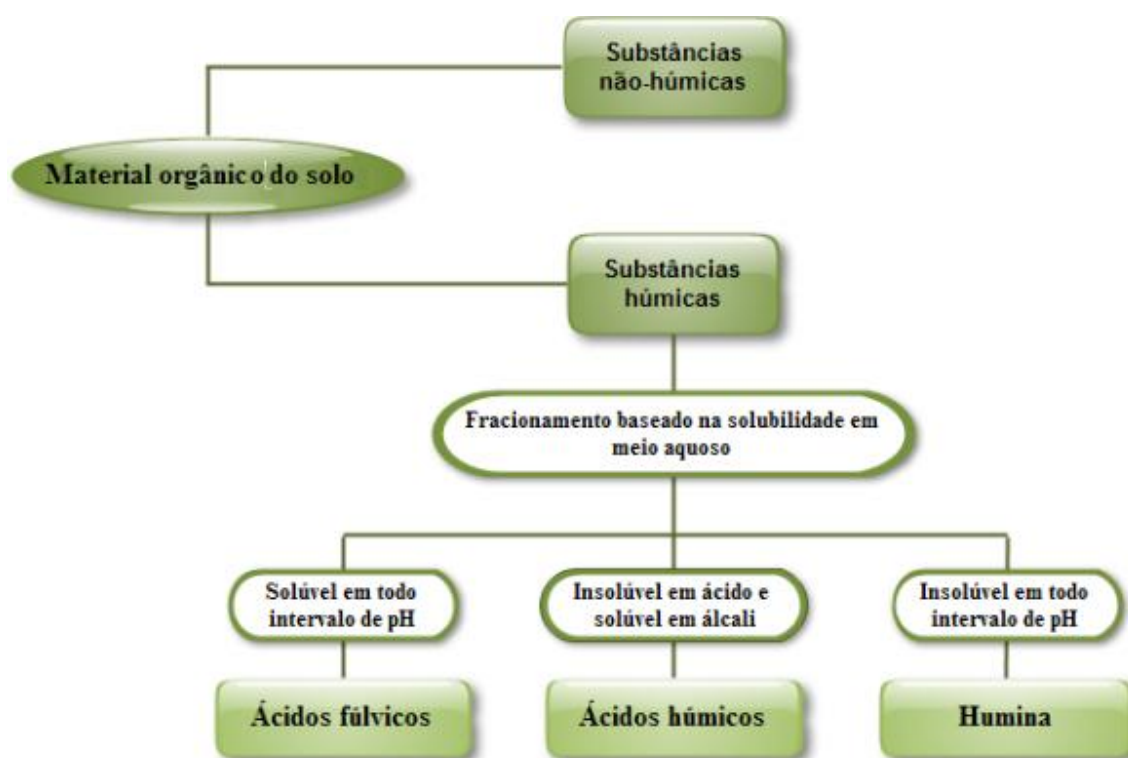


Figura 1. Esquema de fracionamento químico das substâncias húmicas (adaptado de Rosa, 1998)

Os ácidos fúlvicos (AF) são considerados compostos de maior solubilidade por apresentarem maior polaridade e menor tamanho molecular. São os principais responsáveis por mecanismos de transporte de cátions no solo.

Os ácidos húmicos (AH) definidos operacionalmente como a fração escura solúvel em meio alcalino, precipitando-se em forma de produto escuro e amorfo em meio ácido. São os compostos mais estudados e apresentam pouca solubilidade na acidez normalmente encontrada em solos tropicais e são responsáveis pela maior parte da CTC (Capacidade de troca catiônica) de origem orgânica em camadas superficiais do solo.

A humina (HUM) é uma única fração insolúvel em meio alcalino ou em meio ácido diluído. E apesar de apresentar baixa reatividade, é responsável pela agregação das partículas e, na maioria dos solos tropicais, representa boa parte do carbono humificado do solo (BENITES et al., 2003).

Na literatura existem várias propostas estruturais para as SHs. Entretanto, de acordo com Stevenson (1985) nenhuma parece ser inteiramente satisfatória. Provavelmente, isto ocorre não apenas por causa da complexidade e heterogeneidade estrutural das SH, mas principalmente devido à falta de uma identidade estrutural genérica a qual é fortemente influenciada pelo grau e mecanismo de decomposição. Nos modelos recentemente propostos, tem-se observado que a estrutura das substâncias húmicas contém espaços vazios (Figura 2 e 3) de diferentes tamanhos, onde poderiam alojar-se outros compostos orgânicos hidrofílicos ou hidrofóbicos, como carboidratos e matérias proteicas, lipídeos, agrotóxicos e outros poluentes.

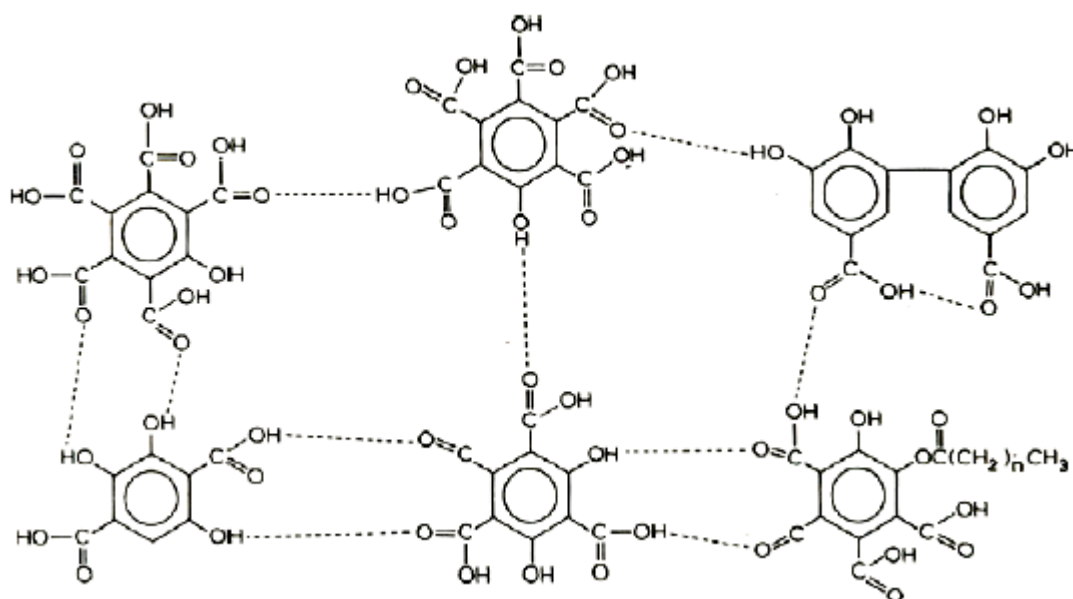


Figura 2. Modelo proposto para a estrutura dos ácidos fúlvicos (adaptado de Schnitzer, 1978)

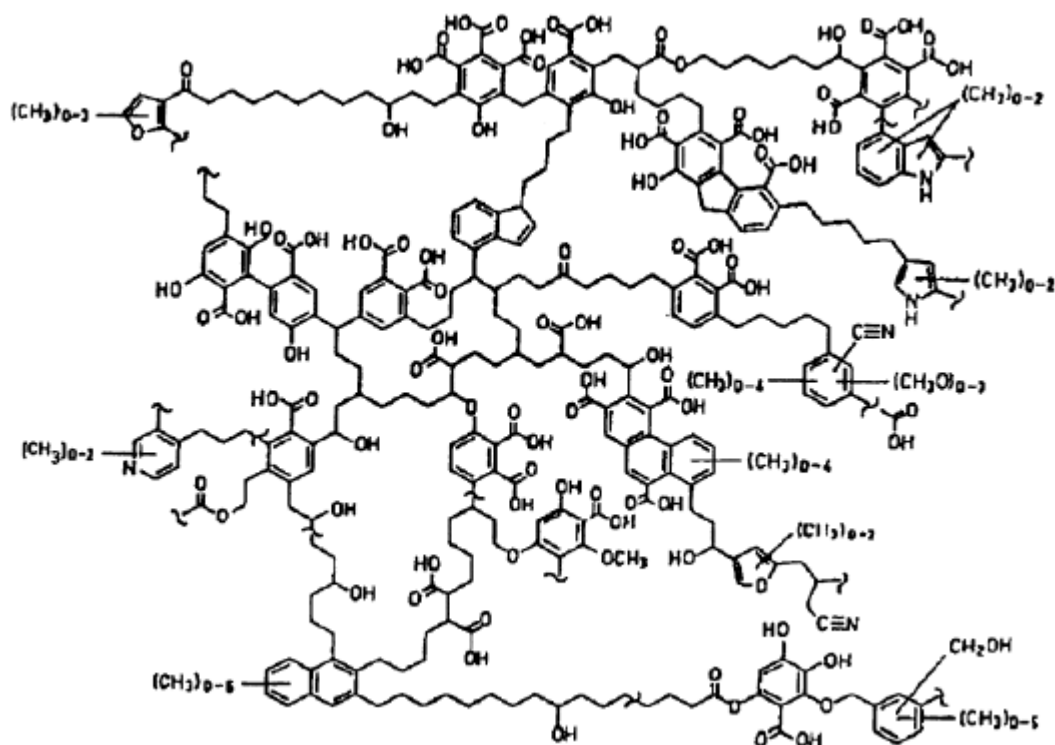


Figura 3. Estrutura proposta para o ácido húmico (adaptado de Schulten, 1995)

A partir dos teores de carbono dos ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina podem ser derivadas algumas variáveis que explicam a dinâmica da matéria orgânica no solo :

- Relação carbono em ácido húmico e carbono em ácido fúlvico (C-AH/C-AF) - é a relação entre os teores de carbono dos ácidos húmicos e ácidos fúlvicos, e indicam a mobilidade do carbono no solo. Em geral, os solos mais arenosos apresentam maiores relações C-AH/C-AF indicando a perda seletiva da fração das SHs (fração ácido fúlvico).
- Relação extrato alcalino (carbono em ácido fúlvico + carbono em ácido húmico) e o carbono em humina (EA/C-HUM) - este índice indica iluviação (processo de acumulação do material do solo, removido de um horizonte superior para um inferior no perfil do solo) de matéria orgânica e nos horizontes espódicos (são horizontes subsuperficiais, no qual materiais amorfos ativos, compostos de matéria orgânica e alumínio, com ou sem ferro, tenham precipitado) são encontrados as maiores relações EA/C-HUM, enquanto em horizontes superficiais as relações EA/C-HUM são em geral menores que 1 (BENITES et al. 2001).

2.3 Utilização da Vinhaça na Fertirrigação do solo

O agronegócio sucroalcooleiro movimenta cerca de R\$ 56 bilhões por ano, com faturamentos diretos e indiretos, o que corresponde a 2,0% do Produto Interno Bruto nacional. A produção nacional de cana-de-açúcar destinada à indústria sucroalcooleira segundo a Companhia Nacional Abastecimento do Brasil - CONAB (2011), para a safra 2010/2011, a estimativa da moagem é de 642 milhões de toneladas de cana, produzindo 308,9 milhões de toneladas de açúcar e 27,09 bilhões de litros de álcool.

Nesse contexto, o Estado de Mato Grosso é um dos sete maiores produtores de álcool e açúcar do país, com 11 usinas instaladas e em operação (FREITAS, 2008), e 80% da produção voltada ao atendimento da demanda do mercado externo. As principais usinas no Estado são a Barrácool, Itamarati, Cooperb, Coprodia, Libra, Alcopan, Pantanal e Jaciara, algumas dessas usinas iniciaram suas atividades na década de 80, atuando na produção de álcool, açúcar, energia elétrica e resíduos industriais (vinhaça, torta de filtro e fuligem, como adubos orgânicos líquidos e sólidos nas lavouras).

Concomitantemente ao aumento da produção de álcool, é também acrescida a produção de vinhaça, um subproduto oriundo de sua fabricação. Segundo Rossetto (1987) 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 vinhaça é caracterizada como efluente de destilarias com alto poder poluente e alto valor fertilizante; o poder poluente, cerca de cem vezes maior que o do esgoto doméstico, decorre da sua riqueza em matéria orgânica, baixo pH, elevada corrosividade e altos índices de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), variando de 20.000 a 35.000 mg.L⁻¹, além de elevada temperatura na saída dos destiladores, em torno de 85 a 90°C (FREIRE; CORTEZ, 2000).

Durante décadas, mesmo quando a vinhaça era gerada em proporções muito inferiores às atuais, ela já causava preocupação quanto aos seus impactos ambientais nos órgãos de controle ambiental e na comunidade científica (CORAZZA, 2006).

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 lançado, na forma bruta, nos cursos de água, desencadeando uma série de fatores adversos no que diz respeito às questões ambientais.

Até o final dos anos 70, volumes crescentes de vinhaça eram lançados nos mananciais superficiais proporcionando a proliferação de micro-organismos decorrente do esgotamento de oxigênio dissolvido na água, destruindo a flora e a fauna aquáticas e dificultando o abastecimento de água potável.

Por conta disso através da Portaria MINTER n.º 323, de 29 de novembro de 1978 (BRASIL, 1978), o governo proibiu, o lançamento direto ou indireto da vinhaça em qualquer coleção hídrica, a partir da safra 1979/1980, e obrigou as destilarias a apresentarem projetos para implantação de sistemas de tratamento e/ou utilização da vinhaça.

Várias pesquisas foram desenvolvidas (FERREIRA; MONTEIRO, 1987; CAMARGO et al., 1988; RIDESA, 1994), e indicaram a fertirrigação como uma nova prática mais adequada para o aproveitamento desse resíduo, já que o mesmo pode reduzir o custo de produção agrícola, substituindo em parte, a adubação mineral.

O uso agrícola da vinhaça e, conseqüentemente, a redução dos riscos ambientais, fez com que o resíduo adquirisse valor econômico, a partir de 1975, passando de agente poluidor a condicionador químico e físico do solo (ROSSETTO, 1987). Dessa forma, a fertirrigação constitui uma tecnologia que objetiva usar de forma racional os resíduos industriais, pois, ao mesmo tempo em que impede que eles sejam jogados nos rios, possibilita a fertilização dos solos agrícolas (MELO; SILVA, 2001).

Atualmente, a prática de aplicação da vinhaça na lavoura, por meio da fertirrigação, é adotada na maioria das usinas, com tecnologia bem conhecida, existindo inúmeros ensaios que comprovam os resultados positivos obtidos na produtividade agrícola, associados à economia dos adubos minerais (PENATTI et al. 1988).

Entretanto, mesmo com os efeitos benéficos da vinhaça no solo, Centurion et al. (1989) alertam que, quando aplicada em altas taxas, a vinhaça conduz a efeitos indesejáveis, como o comprometimento da qualidade da cana para produção de açúcar, poluição do lençol freático, desequilíbrio de nutrientes, além de induzir a uma saturação do solo.

Por isso, pesquisas que possam consolidar a utilização da vinhaça na fertirrigação da cana-de-açúcar como prática viável e ambientalmente segura, são fundamentais para aperfeiçoamento do sistema de produção sucroalcooleiro (BRITO et al., 2007).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

Este estudo foi realizado em parceria com a Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), por meio do Grupo de Pesquisa em Resíduos e Matéria Orgânica do Solo, e financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa de Mato Grosso (FAPEMAT).

Nesse sentido, a área de estudo selecionada foi a Usina Pantanal de Açúcar e Álcool Ltda., localizada na rodovia BR 364, km 307, no município de Jaciara, MT.

A usina Pantanal explora as suas atividades agrícolas em 20 mil hectares da Fazenda Santa Fé, situada nas coordenadas 15°55'30''S e 55°13'47''W, 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).

3.2 Amostragem e Tratamentos

A amostragem foi realizada em Neossolo Quartzarênico cultivado com cana-de-açúcar e fertirrigado com vinhaça, por um período de quatro e oito anos de aplicação do resíduo.

As amostras do solo foram coletadas em mini-trincheiras de um metro quadrado, distribuídas de forma aleatória na área em estudo, com profundidade de 20 cm.

Foram abertas três mini-trincheiras para cada tratamento: 4 anos de aplicação de vinhaça (N4), 8 anos de aplicação da vinhaça (N8). Utilizaram-se amostras de solo sob cerrado (CE) sob mata (MA) como áreas testemunha, que constituíram os outros dois tratamentos.

3.3 Métodos

As amostras foram secas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm (TFSA – terra fina seca ao ar), para em seguida serem analisados os teores de carbono orgânico total (COT) dos solos e das frações das substâncias húmicas (SHs)

extraídas. Os resultados médios das duplicatas de cada variável foram apresentados com seus respectivos desvios padrão. Todas as análises de carbono e fracionamento químico da matéria orgânica foram realizadas no Laboratório de Solos do IFMT campus Cuiabá Bela Vista. O Quadro 1 mostra os equipamentos utilizados nas determinações de COT dos solos e das frações das SHs extraídas.

Quadro 1. Equipamentos utilizados nas determinações de carbono orgânico total dos solos e das frações das substâncias húmicas extraídas.

Equipamentos	Marca	Modelo
Agitador magnético	Jeio tech	HP3000
Agitador vortex	Eeikonal	QL 901
Balança analítica eletrônica	Bioprecisa	Fa2104N
Bloco digestor para tubo Micro	SP Labor	SP2540
Bomba a vácuo	Eeikonal	PJ1311132
Centrífuga de bancada	Centribio	802B5ML
Estufa de Esterilização e Secagem Digital	SP Labor	SP102
pHmetro digital	Marte	MB10P

3.3.1 Determinação do Carbono Orgânico Total do Solo (COT)

O COT foi determinado de acordo com Yeomans e Bremner (1988), consiste na digestão de 0,5 g de TFSA 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. Após o resfriamento em temperatura ambiente, os extratos foram transferidos quantitativamente 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 ferróina 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 4)

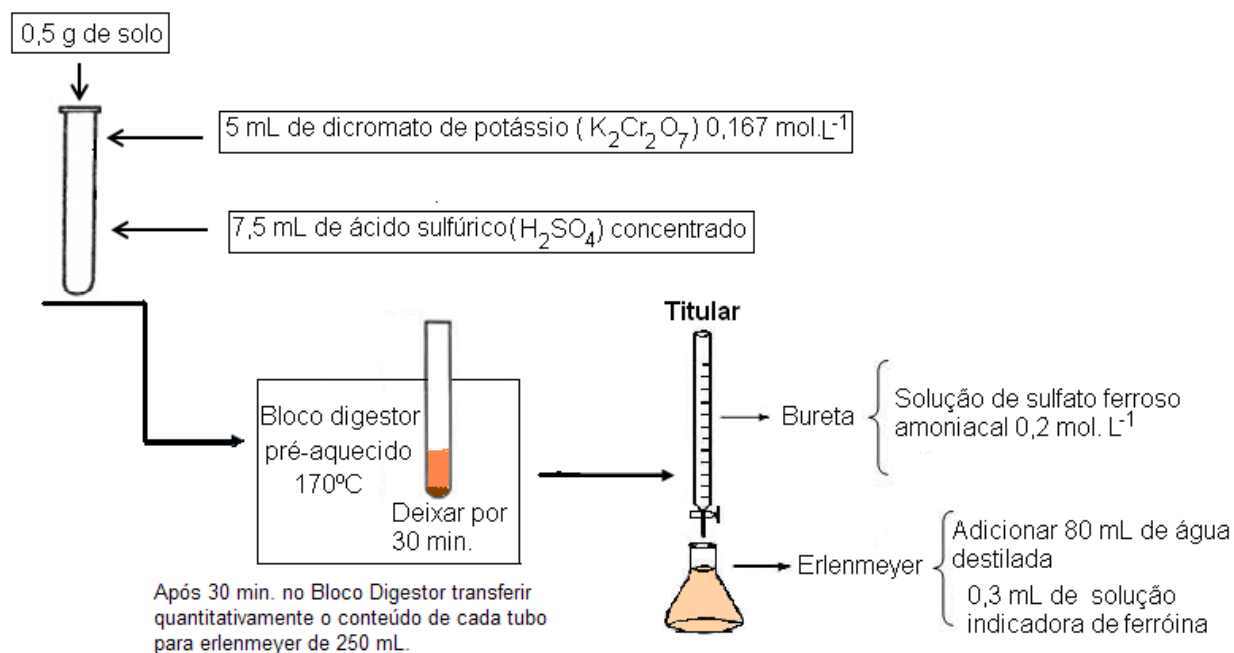


Figura 4. Representação esquemática da determinação do COT nas amostras.

Paralelamente, foram realizadas provas em branco, com e sem aquecimento. O teor de COT nas amostras de solo foi calculado por meio da equação 1.

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

Onde:

COT = carbono orgânico (g. kg^{-1});

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 amoniacal (mol.L^{-1});

Ms = massa da amostra de solo (g).

3.3.2 Extração e Fracionamento Químico de Substâncias Húmicas do Solo

A extração e o fracionamento quantitativo das SHs (AF – ácido fúlvico, AH – ácido húmico e HUM – humina) nas amostras de solos foram feitas pelo fracionamento químico simplificado (BENITES et al., 2003), conforme segue a representação esquemática abaixo (Figura 5).

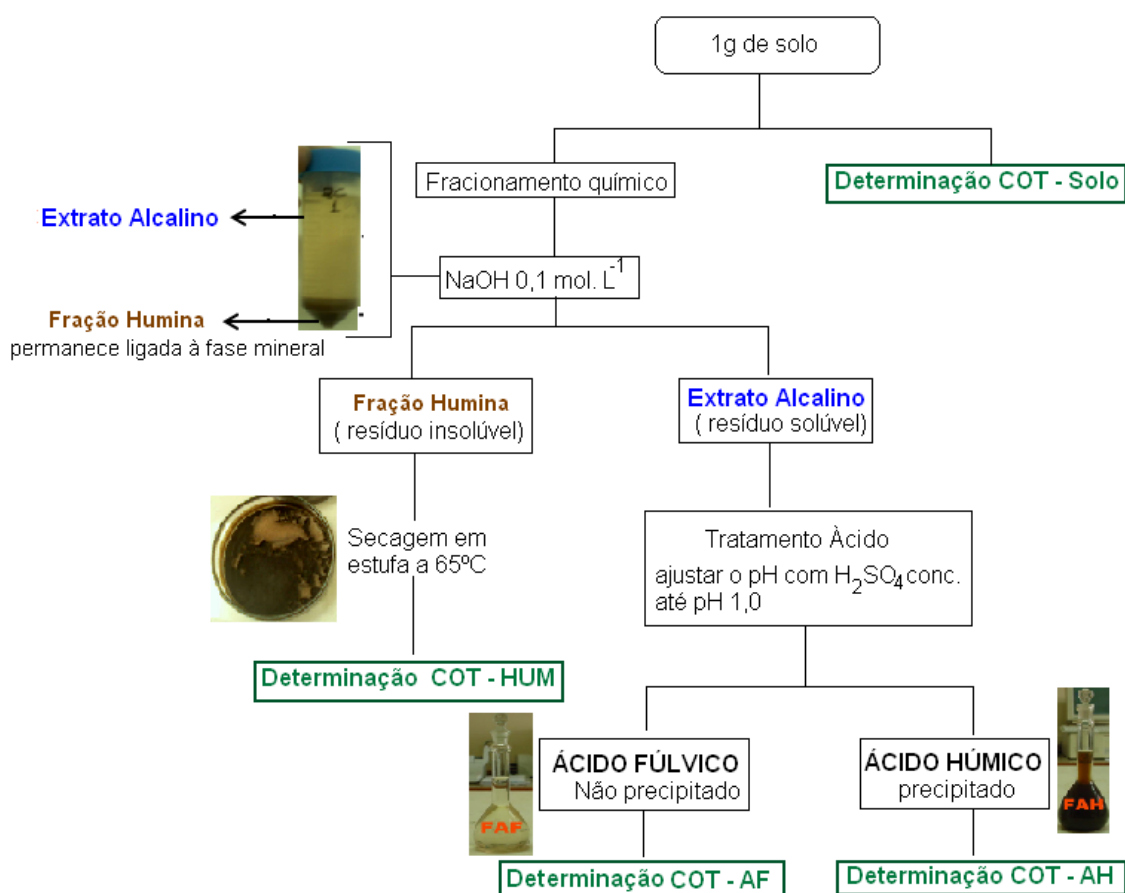


Figura 5. Representação esquemática do fracionamento químico simplificado de substâncias húmicas .

O procedimento consiste em pesar 1 g de TFSA em um tubo de centrífuga de 50 mL e adicionar 20 mL de NaOH 0,1 mol.L⁻¹ ; o qual foi agitado e deixado posteriormente em repouso por 24 horas. Em seguida centrifugou-se a 3.500 rpm por 30 minutos. O líquido (EA - extrato alcalino = AF + AH) foi cuidadosamente recolhido em um recipiente plástico de 50 mL recoberto por papel alumínio. Esta operação foi repetida mais uma vez adicionando-se mais 20 mL de NaOH 0,1 mol.L⁻¹ . O precipitado (HUM) foi retirado do tubo e acondicionado em placa de petri em estufa a 65°C até a secagem completa. Após secagem, o precipitado (HUM) foi

macerado em almofariz de porcelana e reservado em saco plástico para determinação do COT.

Posteriormente, foi ajustado o pH do extrato alcalino para $\text{pH} \pm 1,0$ pela adição de H_2SO_4 concentrado dentro do recipiente plástico de 50 mL e deixou-se decantar em geladeira por 18 horas. A extração da fração do ácido fúlvico mais ácido húmico (AF+AH), foi realizada por meio da filtração do precipitado em filtro de membrana de $0,45 \mu\text{m}$ sob bomba de vácuo. O filtrado foi recolhido em balão volumétrico aferindo-se o volume para 50 mL usando água destilada, que constituiu a fração ácido fúlvico. Em seguida adicionou-se $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ sobre o precipitado até a lavagem completa do filtro; o mesmo foi recolhido em outro balão volumétrico aferindo-se seu volume para 50 mL usando água destilada, resultando na fração ácido húmico (Figura 6) . Todas as frações obtidas foram encaminhadas para a determinação do COT.

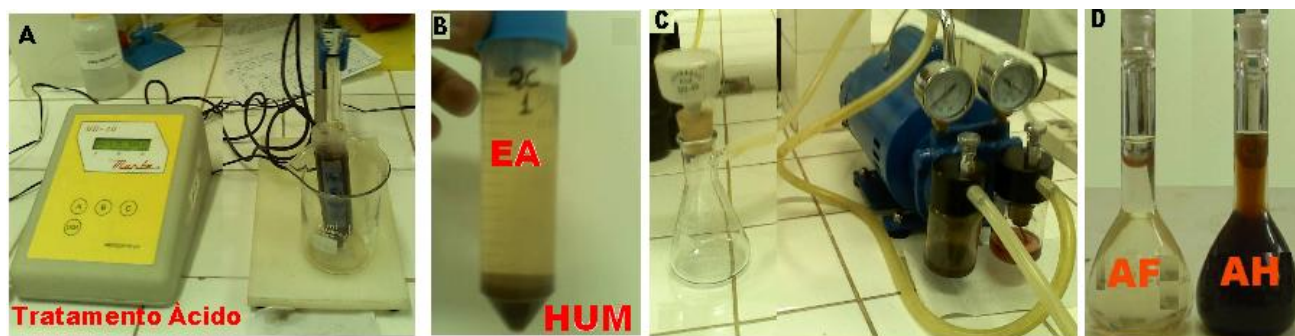


Figura 6. Etapas realizadas durante o fracionamento químico simplificado das substâncias húmicas. A : Acidificação do extrato alcalino (EA) a pH 1,0; B: Tubo de centrifuga com destaque do precipitado (HUM) e do sobrenadante (EA); C: Filtragem a vácuo do extrato acidificado para separação das frações ácido fúlvico (AF) e ácido húmico (AH); D: Balões volumétricos de 50 mL com as frações AF e AH.

3.3.3 Determinação do Carbono nas frações das Substâncias Húmicas

Para a determinação do carbono das frações das SHs foi usado o método adaptado de Yeomans e Bremner (1988). O procedimento consiste em pipetar uma alíquota de 5 mL da solução de AF ou AH para tubos de digestão de 100 mL, adicionou-se 1 mL de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ } 0,042 \text{ mol. L}^{-1}$ e acrescentou-se, com pipeta volumétrica, 5 mL de H_2SO_4 concentrado. Os tubos foram colocados no bloco digestor pré-aquecido a 150°C por 30 minutos dentro de capela de exaustão. Em seguida, deixou-se esfriar por 20 minutos e o conteúdo de cada tubo foi transferido quantitativamente para erlenmeyers de 125 mL. Em seguida, adicionou-se três gotas

de ferróina (solução indicadora) e titulou-se com solução de sulfato ferroso amoniacal (SFA) 0,0125 mol. L⁻¹. Paralelamente, foram realizadas provas em branco, com e sem aquecimento. O teor de carbono nas frações de AF e AH foram calculados por meio da equação 2.

$$\text{Cálculo : } X = (V_{\text{baq}} - V_{\text{am}}) N_{\text{SFAcorr}} \cdot 3 \times 50 / \text{alíquota (mL)} \cdot 1 \quad \frac{(\text{eq. 2})}{M_s}$$

Sendo:

X = mg carbono na forma de AF ou AH por grama de solo

V_{baq} = Volume (mL) de SFA consumido na titulação do branco aquecido

V_{am} = Volume (mL) de SFA consumido na titulação da amostra

M_s = massa da amostra de solo (g).

N_{SFAcorr} = Normalidade do SFA corrigida pela equação 3 :

$$N_{\text{SFAcorr}} = \frac{\text{Volume de dicromato} \cdot \text{Normalidade do dicromato}}{\text{Volume de SFA consumido na titulação do branco sem aquecimento}} \quad (\text{eq.3})$$

Para a determinação do carbono na fração humina, pesou-se ± 0,5 g do precipitado reservado em saco plástico, em tubos de digestão de 100 mL, adicionou-se 5 mL de K₂Cr₂O₇ 0,1667 mol.L⁻¹ e acrescentou-se 10 mL de H₂SO₄ concentrado (Figura 7).



Figura 7. Etapas realizadas durante a determinação do carbono nas frações das substâncias húmicas . A : Tubos contendo amostras de ácidos fúlvicos e húmicos antes de serem levadas ao bloco digestor; B: Bloco digestor a 150°C contendo as amostras; C: Amostra de HUM após deixar o bloco digestor; D: Titulação da amostra de AF com SFA.

Os procedimentos seguintes foram semelhantes aos descritos anteriormente para as frações de AF e AH, exceto na titulação, onde utilizou-se solução de sulfato ferroso amoniacal $0,25 \text{ mol.L}^{-1}$ e o teor de carbono foi calculado por meio da equação 4.

$$\text{Cálculo : } X = (V_{\text{baq}} - V_{\text{am}}) N_{\text{SFAcorr}} \cdot 3 \cdot \frac{1}{M_s} \quad (\text{eq. 4})$$

Sendo:

X = mg carbono na forma de AF ou AH por grama de solo

V_{baq} = Volume (mL) de SFA consumido na titulação do branco aquecido

V_{am} = Volume (mL) de SFA consumido na titulação da amostra

M_s = massa da amostra de solo (g).

N_{SFA} = Normalidade do SFA corrigida pela equação 3.

Dos teores de cada fração de substâncias húmicas foi calculado a relação C-AH/C-AF (indica a mobilidade do carbono no solo) e a relação entre as frações no extrato alcalino (AF + AH = EA) e humina (H), obtendo-se a relação EA/C-H (indica iluviação de matéria orgânica no perfil do solo) (BENITES et al., 2003).

3.4 Tratamento estatístico dos resultados

Os resultados foram tratados estatisticamente por meio do programa Microsoft Excel 2010, e os dados foram submetidos à análise estatística descritiva (média e desvio-padrão). Os teores de carbono nas frações húmicas foram comparados com o teor de COT utilizando o método de correlação de Pearson.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Teor de Carbono Orgânico Total (COT) dos Solos

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), praticamente destituídos de minerais primários pouco resistentes ao intemperismo, consequentemente, pobres em nutrientes para as plantas (CORREIA et. al., 2004).

Em virtude disso, são considerados solos com limitações quanto ao uso agrícola (CORREIA et al., 2004). O uso contínuo de culturas anuais, como a de cana-de-açúcar, pode levá-las rapidamente à degradação. Entretanto, os Neossolos Quartzarênicos, deficientes em estrutura, têm na matéria orgânica o principal fator de sustentação dessa frágil condição edáfica, e as práticas de manejo que mantenham ou aumentem os teores de matéria orgânica, como a adição da vinhaça, podem reduzir esse problema.

No Neossolo Quartzarênico, observa-se que o teor de COT dos solos com quatro anos de aplicação com vinhaça (N4) obteve os menores valores (Figura 8) em relação aos demais tratamentos, provavelmente em função do menor período de aplicação do resíduo.

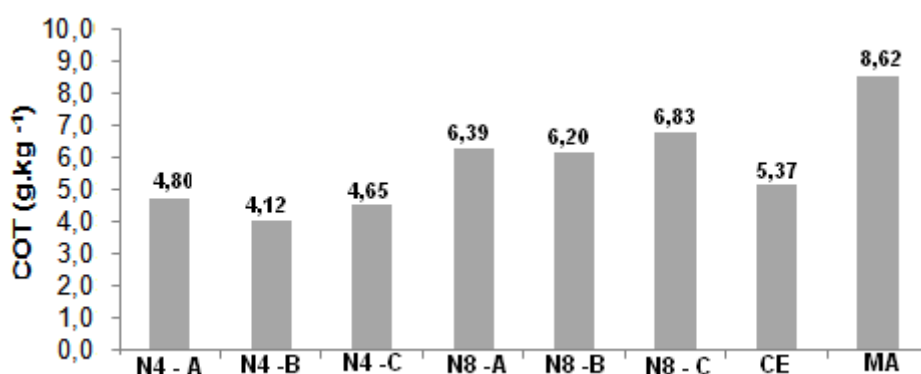


Figura 8. Teor de Carbono Orgânico Total (g.kg^{-1}) dos solos. (N4: aplicação da vinhaça por 4 anos; N8: aplicação da vinhaça por 8 anos; CE: cerrado; MA: mata)

Contudo, com passar dos anos constatou-se que o COT aumentou durante o período de aplicação da vinhaça de 4 para 8 anos, demonstrando a contribuição do resíduo na retenção e aumento nos teores de COT do solo. Esta observação confirma a hipótese de Camilotti *et. al.* (2006), em que afirmam que a MO pode aumentar após sucessivas aplicações de vinhaça por um período maior que quatro anos, e Zolin *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.

Os valores maiores de COT nos solos de cerrado e mata (5,37 e 8,62 g. kg⁻¹) podem ser explicados pela maior estabilidade dos sistemas sem utilização agrícola, ocorrendo um equilíbrio dinâmico entre as taxas médias de adição de carbono no solo e as taxas de mineralização do resíduo orgânico. Além disso, o não revolvimento do solo e o acúmulo dos resíduos orgânicos na camada superficial favoreceram o aumento do COT. Em áreas cultivadas, os teores de MO, via de regra, diminuem, já que as frações orgânicas são mais expostas ao ataque de micro-organismos, em função da maior desestruturação do solo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Canellas *et al.* (2003) que perceberam alterações químicas e melhoria na fertilidade e qualidade da matéria orgânica do solo com a adição de matéria orgânica na lavoura de cana-de-açúcar, por longo prazo.

4.2 Teor de Carbono nas Frações Húmicas da MO dos Solos

Os resultados obtidos com o fracionamento químico da matéria orgânica das amostras de solo estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores médios (desvio - padrão entre parênteses) dos teores de carbono nas frações das SHs, COT e as relações entre as frações de ácidos húmicos e ácidos fúlvicos (C-AH/C-AF) extrato alcalino e resíduo (EA/C-HUM) e o índice de humificação (IH) dos solos (N4: aplicação da vinhaça por 4 anos; N8: aplicação da vinhaça por 8 anos; CE: cerrado; MA: mata)

Amostra	COT	C-AF ¹	C-AH ²	C-HUM ³	C-AH/C-AF	EA/C-HUM	IH ⁴
		g .kg ⁻¹					..%..
N4 – A	4,80 (±0,39)	0,95 (±0,01)	1,16 (±0,01)	2,06 (±0,06)	1,22	1,03	86,97
N4 – B	4,12 (±0,29)	0,98 (±0,04)	1,05 (±0,01)	2,05 (±0,00)	1,06	1,00	98,39
N4 – C	4,65 (±0,45)	0,90 (±0,03)	1,17 (±0,06)	2,02 (±0,00)	1,30	1,03	88,21
Média	4,53 (±0,36)	0,95 (±0,04)	1,13 (±0,07)	2,04 (±0,02)			
N8 – A	6,39 (±0,01)	0,99 (±0,03)	1,67 (±0,08)	2,60 (±0,10)	1,67	1,02	82,37
N8 – B	6,20 (±0,30)	1,03 (±0,09)	1,67 (±0,03)	2,63 (±0,05)	1,62	1,03	85,96
N8 – C	6,83 (±0,21)	1,31 (±0,06)	1,65 (±0,06)	2,91 (±0,14)	1,26	1,02	85,89
Média	6,47 (±0,32)	1,11 (±0,17)	1,66 (±0,01)	2,71 (±0,17)			
CE	5,37 (±0,29)	1,29 (±0,04)	1,31 (±0,01)	1,64 (±0,11)	1,01	1,59	79,00
MA	8,62 (±0,30)	1,65 (±0,02)	2,15 (±0,02)	3,74 (±0,11)	1,30	1,02	87,56

¹C-AF: carbono na fração ácido Fúlvico; ²C-AH: carbono na fração ácido Húmico; ³C-HUM: carbono na fração Humina; ⁴ IH = (AF+AH+HUM / COT) x100

Ao analisar a distribuição do teor de COT das SHs (Figura 9), constatamos que o fracionamento químico é eficiente para identificar que a maior parte do carbono está na forma de humina (C-HUM) e ácidos húmicos (C-AH). Resultados semelhantes foram encontrados por Assis et al. (2006), Barreto et al. (2008) e Ebeling et al. (2011), em solos sob diferentes sistemas de manejo.

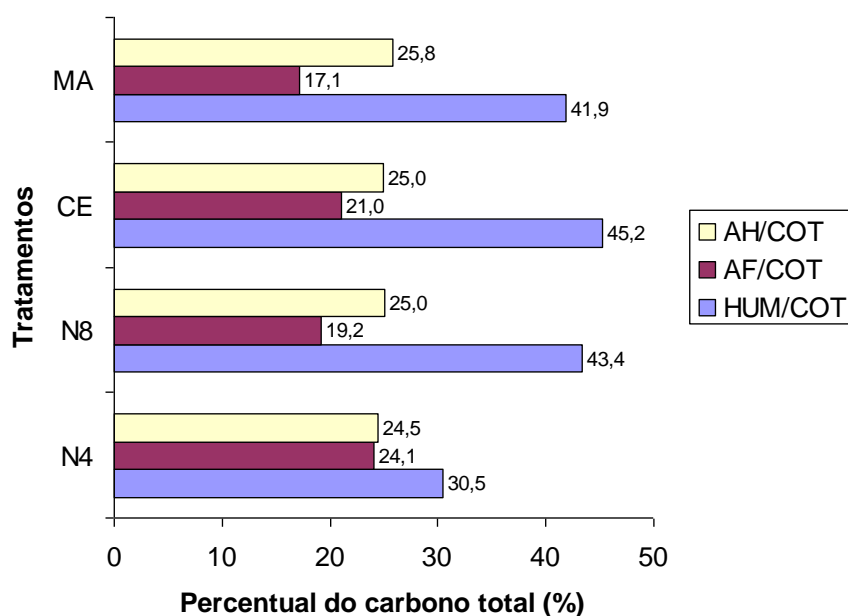


Figura 9. Distribuição do carbono nas frações húmicas dos solos (N4: aplicação da vinhaça por 4 anos; N8: aplicação da vinhaça por 8 anos; CE: cerrado; MA: mata)

Segundo Pizauro Jr. e Melo (1995), a predominância de uma fração em detrimento a outra indica o estágio de mineralização da MO. A fração humina é a

fração que contém a maior parte do COT do solo, e de maneira geral, a HUM parece indicar um estágio mais avançado de mineralização da MO, pois esta fração predomina em comparação a demais frações.

Cabe ressaltar que apesar de apresentar baixa reatividade, a humina é a principal responsável pelos mecanismos de agregação de partículas, na maioria dos solos tropicais representa a maior parte do carbono humificado do solo (RICE e MACCARTHY, 1990). Canellas et al. (2001) afirmam que isso ocorre devido ao fato da fração humina, se encontrar intimamente associada à fração mineral do solo.

A predominância da fração humina deve-se às suas características de alta massa molecular e à forte interação com a fração mineral do solo, conferindo resistência à degradação microbiana (STEVENSON, 1994), e em termos de sequestro de carbono, a humina deve ser considerada a fração mais significativa da reserva de carbono orgânico no solo (FERREIRA et al., 2004).

Para Leite et al. (2003), o fato de a fração humina apresentar maior percentagem de COT, pode ser justificado pelas frações de ácido fúlvico e ácido húmico apresentarem menor estabilidade, sofrerem processos de movimentação no perfil, polimerização, ou mineralização, diminuindo seu teor residual no solo.

Outra hipótese que explicaria os elevados valores de C-HUM podem estar relacionados ao tamanho das moléculas e ao maior grau de estabilidade desta fração. Isto evidencia um processo de humificação mais intenso, com SHs muito polimerizadas que apresentam uma melhor estruturação do solo, maior quantidade de cargas elétricas, contribuindo dessa forma, com a retenção de umidade, a manutenção do conteúdo de COT e conseqüentemente, o aumento da fertilidade natural do Neossolo Quartzarênico.

Em relação ao carbono em ácido húmico (C-AH) verifica-se seu predomínio em relação carbono em ácido fúlvico (C-AF) em todas as amostras de solos estudadas (Tabela 1), constatando o maior valor no Neossolo sob mata (MA). Proporcionalmente, o carbono dos ácidos húmicos é similar nos 4 tratamentos (Figura 9), contribuindo com aproximadamente 25% do COT dos solos.

A fração ácido húmico representa a fração intermediária no processo de estabilização dos compostos húmicos, sendo a principal responsável pela maior parte da CTC de origem orgânica em camadas superficiais de solos (BENITES et al. 2003). O aumento no conteúdo de AH constitui portanto, um marcador natural do

processo de humificação e reflete, como tal, o uso e manejo do solo (CANELLAS et al., 2003; LEITE et al., 2004; RANGEL e SILVA, 2007).

Os dados revelam um incremento no teor de C-AH e C-AF quando comparado o período de aplicação da vinhaça de 4 para 8 anos (Tabela 1), demonstrando a eficiência na vinhaça no melhoramento na qualidade da matéria orgânica do solo, uma vez que houve aumento do conteúdo de SHs.

Quanto ao carbono em ácido fúlvico (C-AF), sua proporção em relação ao COT foi menor, sendo maior e semelhante nos solos com aplicação da vinhaça por 4 anos e no cerrado (Figura 9), cuja contribuição foi de 24 e 21%, respectivamente.

Os teores de carbono nas frações húmicas foram comparados com o teor de carbono orgânico total utilizando o método de correlação de Pearson. Verificam-se correlações positivas ($p < 0,05$) entre os teores de COT e o C-HUM em todos os tratamentos com vinhaça, sendo este padrão diferente nas demais frações (AF e AH) (Tabela 2).

Tabela 2 – Coeficientes de correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre os teores de carbono nas frações húmicas e o Carbono orgânico total (COT).

Variáveis	N4	N8
C-AH	0,96	-0,99
C-AF	-0,65	0,92
C-HUM	0,65	0,93

C-AH: carbono na fração ácido Húmico; C-AF: carbono na fração ácido Fúlvico ; C-HUM: carbono na fração Humina;

Estes resultados demonstram a forte interação do carbono na humina (C-HUM) com a fração mineral do solo, uma vez que em todos os tratamentos avaliados observaram-se mais de 40% do COT na forma de HUM. Loss et al. (2010), estudando os estoques COT e seus compartimentos em Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de cultivo e adubação orgânica observaram que o C-HUM constituiu cerca de 65% a 71% (0-5 cm) do COT em todos os sistemas avaliados. O maior valor de carbono na forma de C-HUM favorece as propriedades da fração coloidal da matéria orgânica do solo, tais como: retenção de umidade, melhor estruturação do solo e maior retenção de cátions (SOUZA E MELO, 2003).

Em relação às frações C-AH e C-AF, não houve correlação com o COT em todos os tratamentos. O C-AH não se correlacionou com o COT nas áreas de

aplicação de vinhaça com 8 anos. Já para o C-AF, este padrão foi observado nos solos com aplicação de vinhaça de 4 anos.

O uso prolongado do solo, por propiciar maior decomposição da matéria orgânica devido à maior entrada de O_2 e consequente aumento da atividade microbiana, acelera o processo de humificação da matéria orgânica do solo, com consequente liberação dos ácidos hidrossolúveis e formação dos ácidos fúlvicos livres (Cunha et al., 2001). Deste modo, o teor de C-AH diminui em função da utilização de arados e grades e o C-AF aumenta, conforme observado na correlação positiva entre o C-AF e o COT no solo com aplicação de vinhaça por 8 anos ($r = 0,92$). Entretanto, quando não há perturbação do solo (como nos sistemas naturais cerrado e mata), há maior polimerização de compostos húmicos, o que aumenta a proporção de C-AH em relação a C-AF.

Considerando-se que os teores de argila na camada superficial do solo em estudo são baixos resultando em baixa capacidade de troca de cátions, o uso de um sistema de manejo adequado poderia favorecer a um processo de humificação menos intenso. Nesse processo, teriam, em quantidades equivalentes, substâncias húmicas menos polimerizadas (C-FAF e C-FAH) para a obtenção de maior quantidade de cargas elétricas, e outras mais polimerizadas (C-HUM) que pudessem favorecer a formação e estabilização de unidades estruturais e, dessa forma, maximizar a retenção de água, a manutenção do conteúdo de COT e o aumento da produtividade das culturas (CUNHA et al., 2001).

Dos teores de cada fração de SHs foi calculada a relação C-AH/C-AF (que indica a mobilidade do carbono no solo) e a relação entre as frações no extrato alcalino ($EA = C-AF + C-AH$) e humina (C-HUM), obtendo-se a relação EA/C-HUM (que indica iluviação de matéria orgânica no perfil do solo) (BENITES et al., 2003).

A razão C-AH/C-FAF foi usada por Kononova (1982) como um indicador da qualidade do húmus, expressando o grau de evolução do processo de humificação da matéria orgânica no solo. Em solos tropicais, essa razão é inferior a 1 devido à menor intensidade do processo de humificação, atribuídas à intensa mineralização dos resíduos, restrições edáficas, baixo conteúdo de bases trocáveis à atividade biológica nos solos mais intemperizados (CANELLAS et al., 2002). As relações maiores que 1,0 são explicadas por condições de solo e clima, em que os processos de polimerização e condensação são favoráveis. Já os valores menores que 1,0

indicam perda seletiva do C-AF e/ou acumulação da fração mais estável (C-AH) (FONTANA et al., 2008) .

A proporção C-AH/C-AF em todas as amostras analisadas foram superiores a 1 (Tabela 1), indicando haver predomínio de AH em relação aos AF. Observaram-se maiores valores no solo com aplicação da vinhaça por 8 anos (N8), demonstrando maior grau de humificação da MO nesse tratamento.

Segundo Pasqualoto, (2005) em geral os solos mais arenosos apresentam maiores relações C-AH/C-AF indicando a perda seletiva da fração mais solúvel (AF) por lixiviação. Alguns autores também sugerem que a relação C-AH/C-AF próxima a 1,0 caracteriza material orgânico de ótima qualidade, que permitiria o estabelecimento de propriedades físicas e químicas favoráveis ao desenvolvimento de plantas (CANELLAS, 1999).

Para a relação EA/C-HUM os valores apresentaram próximos a 1 indicando uma proporção entre os extratos alcalinos (AF+AH) e os ácidos húmicos (Tabela 1). Segundo Benites et al. (2003) essa relação fornece informações sobre a iluviação de matéria orgânica e observado que nos horizontes espódicos são encontrados maiores relações EA/C-HUM do que em horizontes superficiais, que em geral são menores que 1.

O Índice de humificação (IH) proposto por Canellas; Santos (2005) foi calculado através da seguinte fórmula: $IH = (AH + AF + HU) \times 100 / COT$ (eq. 5). Este índice permite inferir a proporção de MO humificada em relação ao teor de COT do solo. Ao comparamos os dois tipos de tratamentos (N4 e N8) com as áreas testemunhas (cerrado e mata), verifica-se que o grau de humificação foi superior ao solo de cerrado (CE), demonstrando que a aplicação do resíduo ao longo do tempo forneceu substâncias húmicas mais complexas do que o solo sob vegetação de cerrado (Figura 10), equivalendo ao grau de humificação do solo sob mata.

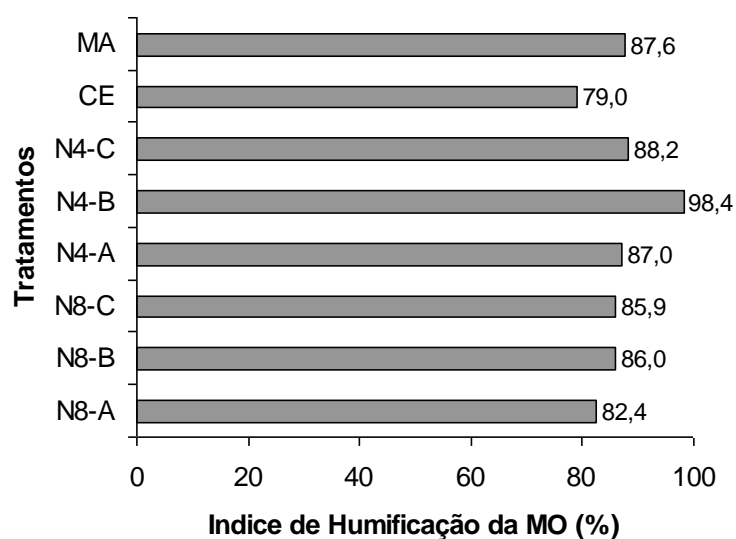


Figura 10. Índice de Humificação da MO(%) dos solos (N4: aplicação da vinhaça por 4 anos; N8: aplicação da vinhaça por 8 anos; CE: cerrado; MA: mata)

A matéria orgânica humificada nos solos com vinhaça esteve em torno de 88%, em média. Ebeling et al. (2011) explica que a principal via de formação das SHs é a humificação de compostos fenólicos solúveis, formando unidades orgânicas precursoras das SHs; com a policondensação de núcleos aromáticos, são formadas os ácidos fúlvicos que, ao se condensarem, originam os ácidos húmicos. A formação da humina é caracterizada pela estabilização química e física dos compostos orgânicos com a fração mineral do solo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

1- A adição de MO, através da aplicação da vinhaça, proporcionou aumento nos teores de COT com relação ao cerrado (testemunha).

2- O teor de COT aumentou durante o período de aplicação da vinhaça de 4 para 8 anos, demonstrando que a prática de adição da vinhaça no solo pode ser considerada eficiente para reter o carbono no solo.

3- A fração humina predominou em todos os perfis estudados, indicando a resistência desta fração à decomposição microbiana e a elevada interação desta fração com a porção mineral do solo.

4- O grau de humificação da MO foi maior nos solos com aplicação da vinhaça em comparação ao solo de cerrado, indicando que a aplicação do resíduo ao longo do tempo forneceu maiores quantidades de substâncias húmicas do que o solo em ambiente natural. Entretanto, a comparação entre áreas de mata e solos com vinhaça indica que está ocorrendo diminuição dos teores de carbono das substâncias húmicas em relação ao ambiente natural de mata, provavelmente isto se deveu à oxidação da matéria orgânica da vegetação nativa ao preparar o solo para a implantação da cana-de-açúcar.

5- Houve predomínio da fração ácidos húmicos em relação aos ácidos fúlvicos, especialmente nos solos com aplicação da vinhaça por 8 anos, demonstrando maior grau de humificação da MO nesse tratamento.

6- A contribuição da vinhaça nos teores de humina dos solos ficou evidenciada pelos maiores teores em relação ao solo de cerrado (testemunha), demonstrando melhoria na qualidade da MO pela aplicação do resíduo agroindustrial.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- ANDREUX, F. Humus in worl soils. In: PICCOLO, A. (Ed.) **Humic sbstances in terrestrial ecosystems**. Amsterdam: Elsevier, 1996. p. 45-100.
- ASSIS, C. P.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. **Carbono e nitrogênio em agregados de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Vol.41. p.1541-1550. 2006.
- BARRETO, A.C.; FREIRE, M.B.G.S.; NACIF, P.G.S.; ARAÚJO, Q.R.; FREIRE, F.J. & INÁCIO, E.S.B. **Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos**. Revista Brasileira Ciência do Solo. Vol. 32.p.1471-1478. 2008.
- 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
- BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo**. Comunicado Técnico 16, EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003, 7pp.
- BENITES, V. M.; SCHAEFER, C. E. R. G.; MENDONÇA, E. S.; MARTIN NETO, L. **Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob Campos de Altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 25, p. 661-674, 2001.
- 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.
- BRITO, F. L.; LYRA, M. R. C.; ROLIM, M. M. **Qualidade do percolado de solos que receberam vinhaça em diferentes doses e tempo de incubação**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.11, n.3, p.318–323, 2007.
- CAMARGO, O. A.; BERTON, R. S.; VALADARES, J. M. A. S.; TEÓFILO SOBRINHO, J. **Características físicas de solo que recebeu vinhaça**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1988, 12p. Boletim Científico, 14.

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.; SANTOS, G.A.; AMARAL, N.M.B. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Gênese, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. p. 69-90. 1999.

CANELLAS, L.P. & SANTOS, G.A. **Humosfera: Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Campos dos Goytacazes, CCTA / UENF, 309p. 2005.

CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A.; RUMJANEK, V.M.; MORAES, A.A. & GURIDI, F. **Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. vol. 36.p.1529-1538. 2001.

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 palhço e adição de vinhaça por longo tempo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.27, n. 5, p.935-944, 2003.

CANELLAS, L.P.; VELOSSO, A.C.X.; RUMJANEK, V.M.; GURIDI, F.; OLIVARES, F.L.; SANTOS, G.A. & BRAZFILHO, R. **Distribution of the humified fractions and characteristics of the humic acids of an Ultisol under cultivation of Eucalyptus and sugar cane**. Terra. vol. 20,p.371-381, 2002.

CENTURION, R.E.B.; MORAES, V.A.; PERCEBON, C.M.; RUIZ R.T. **Destinação final da vinhaça produzida por destilarias autônomas e anexas, enquadradas no programa nacional do álcool**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 11, 1989, Fortaleza: ABES, 1989. p.07.

CONAB: 2º Levantamento: Agosto de 2011. Disponível em:
http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_08_30_13_41_19_boletim_cana_portugues_-_agosto_2011_2o_lev..pdf .Acessado em : 15 de maio 2011.

CORRAZA, R. I **Impactos Ambientais da vinhaça: controvérsias científicas e Lock-in na fertirrigação?** Anais do XLIV Congresso da SOBER. Fortaleza, 2006.p.16.

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

CUNHA, T.J.F.; MACEDO, J.R.; RIBEIRO, L.P.; PALMIERI, F.; FREITAS, P.L.; AGUIAR, A.C. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob cerrado. **Ciência Rural**, v.31, p.27-36, 2001.

EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; PINHEIRO, E.F.M.; VALLADARES, G.S. **Substâncias húmicas e relação com atributos edáficos**. Bragantia, Campinas, v. 70, n. 1, p.157-165, 2011

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.

FERREIRA, E. S.; MONTEIRO, A. O. **Efeitos da aplicação da vinhaça nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo**. Boletim Técnico. COPERSUCAR, Piracicaba, v.37, p.3-7, 1987.

FERREIRA, J.A.; SIMÕES, M.L.; MILORE, D.M.B.P.; MARTIN-NETO, L.; HAYES, M.H.B. **Caracterização Espectroscópica da Matéria Orgânica do Solo**. Circular Técnica, 24. Embrapa São Carlos, 2004.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; BENITES, V.M. **Distribution of organic carbon in the humic fractions of diagnostic horizons from Brazilian soils**. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.39, p.951–971, 2008.

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

FREITAS, A. Sine já intermediou mais de 27 mil vagas de empregos para usinas de MT. Disponível em: <http://www.secom.mt.gov.br:80/>. Acessado em: 09 março de 2008.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A. & FADIGAS, F.S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:425-434, 2002.

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

KONONOVA, M.M. **Matéria orgânica del suelo; su natureza,propriedades y métodos de investigacion**. Barcelona : Oikos – Tau, p.365. 1982.

LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S. & MACHADO, P.L.O.A. **Simulação pelo Modelo Century da dinâmica da matéria orgânica de um Argissolo sob adubação mineral e orgânica**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Vol.28.p. 347-358. 2004.

LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L.; MACHADO, P.L.O.A. & GALVÃO, J.C.C. **Estoques totais de C orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob**

floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. Revista Brasileira Ciência do Solo. vol. 27. p.821-832. 2003

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, E.M.R. **Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação.** Bragantia, Campinas, v.69,n.4,p.913-922,2010.

MACHADO, P.L.O. A. **Manejo da matéria orgânica de solos tropicais: abrangência e limitações.** Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2001. 20p.

MELO, A. S. S. A.; SILVA, M. P. **Estimando o valor da “externalidade positiva” do uso da vinhaça na produção de cana de açúcar: um estudo de caso.** Disponível em:
http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/iv_en/mesa4/2.pdf.
Acessado em: 21 de novembro de 2011.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F. & DEBARBA, L. **Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo.** In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.209-248.

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

PASQUALOTO, L.C. Humosfera. In: Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas / Luciano Pasqualoto Canellas e Gabriel Araújo Santos. – Campos dos Goytacazes : L. P. Canellas , G. A. Santos, p. 309. 2005.

PENATTI, C. P. et al. **Efeitos da aplicação de vinhaça e nitrogênio na soqueira da cana-de- açúcar.** Boletim Técnico Copersucar, São Paulo, v. 44 32-38. 1988.

PIZAURO Jr., J.M.; MELO, W. J. **Influência da incorporação da parte aérea de sorgo nas frações da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho-Escuro.** Revista Brasileira Ciência do Solo. Vol. 19.p.95-103. 1995.

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. **Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. Vol.31. p.1609-1623. 2007.

RICE, J. A.; MACCARTHY, P. A model of humin. **Environmental Science and Biotechnology**, New Orleans, v.24, p. 1875-1877, 1990.

RIDESA – Rede Interinstitucional para o Desenvolvimento Sucro- Alcooleiro. **Aspectos ambientais da aplicação da vinhaça no solo.** São Paulo: UFSCar, 1994. 67p.

ROSA, A.H. **Desenvolvimento de metodologia para extração de substâncias húmicas de turfa utilizando-se hidróxido de potássio**. Instituto de Química da UNESP, Araraquara, 1998.

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.

ROSENFELD, U. **Irrigação e Fertirrigação nas Regiões de São Paulo e Centro-Oeste**. In: I Simpósio de Tecnologia de Produção de Cana-de-açúcar, Piracicaba, GAPE/ESALQ/USP, 2003.

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.

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.

SCHULTEN, H.R. The three-dimensional structure of humic substances and soil organic matter studied by computational analytical chemistry. **Fresenius Journal of Analytical Chemistry**, v. 351, p. 62-73, 1995.

SOUZA, W.J.O.; MELO, W.J. Matéria orgânica em um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1113-1122, 2003.

STEVENSON, F.J.; **Geochemistry of soil humic substances**. In: AIKEN, G.R.; MCKNIGHT, D.M.; WERSHAW, R.L. (Eds.) Humic Substances in Soil, Sediment and Water, John Wiley & Sons, New York, p.13, 1985.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry : genesis, composition, reactions**. 2. ed. New York : John Wiley, 1994. p. 496.

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**. 2008. Disponível em: <<http://www.usp.br/siicusp/15Siicusp/4197.pdf>>. Acessado em : 16 de janeiro de 2012.

