

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LODOS DE ESGOTOS PRODUZIDOS NO BRASIL

*Marcelo Mendes Pedroza¹
Gláucia Eliza Gama Vieira²
João Fernandes de Sousa¹

CHEMICAL CHARACTERISTICS OF SEWAGE SLUDGE PRODUCED IN BRAZIL

Recibido el 14 de marzo de 2011; Aceptado el 13 de septiembre de 2011

Abstract

This study aimed to determine the chemical characteristics of domestic sludge produced in Brazil. The samples were collected in beds of dry sewage treatment plant. The waste sludge LD-1 and LD-10 were typically anaerobic sludge sample and LD-6 was a mixed sludge, rich in ferric chloride. LD-1 and LD-6 showed a moisture content of 12.0 and 11.5%, respectively. The highest ash content was observed in the sample LD-six (46.2%). The lower concentration of organic matter was detected in LD-6 (40.6%), because it is rich in ferric chloride sludge. LD-10 had the highest carbon content (27.0%). The main metals found in sludge sample LD-1 were iron, zinc, manganese, lead, copper, nickel and chromium. The total iron showed the highest concentration (28,911 mg/kg). Nickel has the lowest of them (24 mg/kg). All metals determined in the sludge LD-1 had concentrations below the limits set for agricultural use by the Brazilian resolution. The main functional groups detected in the sludge, through FTIR, were alcohol, carboxylic acid, amides, amines, phenols, hydrocarbons and silicates. The sludge appear in their chemical composition, various substances such as nucleic acids, proteins, carbohydrates, lipids, humic substances and cellulose. These compounds have a very high potential energy to be treated as mere waste. This potential can be transformed from waste to raw material, in thermal processes of incineration and pyrolysis.

Key Words: chemical analysis, functional groups, heavy metals, minerals, sewage sludge.

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

² Universidade Federal do Tocantins (UFT)

*Corresponding author: Rua Aristides Porpino Filho, número 3121, Ponta Negra, Natal, Rio Grande do Norte, 59090-720, Brasil.
Email: mendes@ifto.edu.br

Resumo

Este trabalho teve como objetivo determinar as características químicas de lodos domésticos produzidos no Brasil. As amostras foram coletadas em leitos de secagem de estação de tratamento de esgoto. Os lodos LD-1 e LD-10 eram lodos tipicamente anaeróbios e a amostra LD-6 era um lodo misto, rico em cloreto férrico. LD-1 e LD-6 apresentaram teores de umidade de 12,0 e 11,5%, respectivamente. O maior teor de cinzas foi observado na amostra LD-6 (46,2%). A menor concentração de matéria orgânica foi detectada em LD-6 (40,6%), por ser esse lodo rico em cloreto férrico. As amostras LD-1 e LD-10 apresentaram o maior conteúdo de carbono (27,0%). Os principais metais detectados na amostra de lodo LD-1 foram o ferro, zinco, manganês, chumbo, cobre, níquel e cromo. O ferro total apresentou a maior concentração (28911 mg/kg) e o níquel a menor delas (24 mg/kg). Todos os metais determinados no lodo LD-1 apresentaram concentrações inferiores aos valores limites estabelecidos para uso agrícola pela resolução brasileira. Os principais grupos funcionais detectados no lodo, através de FTIR, foram álcool, ácido carboxílico, amida, amina, fenol, silicato e hidrocarbonetos. Os lodos apresentam em sua constituição química, várias substâncias tais como ácidos nucleicos, proteínas, carboidratos, lipídios, substâncias húmicas e celulose. Esses compostos orgânicos apresentam um potencial energético muito elevado para serem tratados como simples resíduos. Esse potencial pode ser transformado de resíduo para matéria-prima, em processos térmicos de incineração e pirólise.

Palavras chave: análise química, grupos funcionais, lodo de esgoto, metais pesados, minerais.

Introdução

O lodo de esgoto é um resíduo semi-sólido, pastoso e de natureza predominantemente orgânica. A destinação deste resíduo é um grande problema ambiental para as empresas de saneamento, públicas ou privadas (Metcalf e Eddy, 2002). A gestão dos resíduos sólidos provenientes de estações de tratamento de esgotos é uma atividade de grande complexidade e alto custo, que, se for mal executada, pode comprometer os benefícios ambientais e sanitários esperados destes sistemas (Luduvic, 2001, Vieira *et al.*, 2011).

Alguns constituintes das águas residuárias tais como metais e ovos de helmintos, ao passarem pela estação de tratamento de esgoto, concentram-se no lodo. Vários componentes orgânicos (ácidos húmicos) e minerais (nitrogênio e fósforo) conferem características fertilizantes ao resíduo. Entretanto, outros constituintes são indesejáveis como os metais pesados, os poluentes orgânicos e os microrganismos patogênicos pelo seu risco sanitário e ambiental (Oliveira, 2000).

A presença desses constituintes no lodo é muito variável, e depende das características do esgoto bruto e do sistema de tratamento. O esgoto produzido por uma população saudável conterá menos agentes patogênicos que o produzido por uma população doente. Da mesma forma o esgoto doméstico possui baixos teores de metais pesados, o que diminui o risco sanitário e ambiental. Teores altos de contaminantes químicos no esgoto são características, geralmente, de esgotos industriais (Cebalos, 2004). O recebimento de efluentes industriais juntamente com o doméstico pode comprometer a qualidade do lodo das estações de

tratamento de despejos domiciliares, principalmente em relação à concentração de metais pesados (Andreoli *et al.*, 2006).

Os métodos mais comuns para a disposição final de lodos residuais são: (a) eliminação em aterros sanitários, (b) aplicação na agricultura e (c) incineração. Nenhum desses métodos está isento de inconvenientes. Os metais pesados presentes na constituição química do lodo inviabilizam seu emprego no cultivo de certas culturas agrícolas. O processo de incineração é relativamente caro e gera emissões para ar, solo e água. A destinação em aterros sanitários é a forma mais comum para o lodo de esgoto das ETEs brasileiras (Pedroza *et al.*, 2010), sendo que, o grande inconveniente dessa prática é a diminuição da vida útil dos aterros destinados à deposição dos outros resíduos sólidos urbanos.

Várias tecnologias estão sendo desenvolvidas e representam outras alternativas viáveis para o aproveitamento do lodo. Dentre essas alternativas, citam-se: a pirólise, a oxidação úmida e o processo de gaseificação. A pirólise tem muitas vantagens comparadas as outras alternativas. Os produtos gerados no processo pirolítico (óleos, gases e carvão) podem ser usados como fonte de combustíveis, bem como empregados à indústria petroquímica (Vieira *et al.*, 2011). A espectroscopia no infravermelho é uma técnica que tem sido amplamente empregada na caracterização química da matéria orgânica de resíduos, permitindo analisar a natureza química, a reatividade e o arranjo estrutural de grupos funcionais constituintes desses materiais (Dias *et al.*, 2009). O lodo de esgoto é constituído por uma grande variedade de grupos funcionais (ácido, álcool, amina, amida, nitrila, cetona, hidrocarbonetos). Essas estruturas orgânicas possuem potencial energético elevado e podem ser recuperadas em procesos térmicos. Muitos autores recuperaram esses grupos funcionais no bio-óleo obtido da pirólise de lodo de esgotos (Leal, 2010; Fonts *et al.*, 2009; Sánchez *et al.*, 2009; Pokorna *et al.*, 2009).

Este trabalho teve como objetivo determinar as características químicas do lodo doméstico produzido em reator UASB da ETE Vila União, no estado do Tocantins, Brasil, segundo as técnicas analíticas gravimétricas (Umidade, Cinzas e Material Volátil) e instrumentais (Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP – OES), Difractometria de Raio-X (DRX), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Espectroscopia no Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e Análise Elementar).

Materiais e Métodos

A Estação de Tratamento de Esgotos Vila União, Palmas-TO

A Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) denominada Vila União, localizada no bairro Vila União, na cidade de Palmas (Tocantins), é de responsabilidade da Companhia de Saneamento do Tocantins (Saneatins). O sistema de esgotamento é composto por rede coletora, tratamento

preliminar, estação elevatória, reator UASB e Lagoa Facultativa (Figura 1). Essa estação tem a capacidade de tratar 110,0 l/s, mas atualmente trata uma vazão média de 30 l/s de esgotos. A alimentação do sistema é feita através de esgotos tipicamente domésticos.

O Reator UASB (Figura 2a) é constituído por uma câmara inferior de digestão e por um dispositivo superior para separação de gases, sólidos e líquidos. O processo consiste de um fluxo ascendente de esgotos através de uma manta de lodo densa e de elevada atividade que tem por objetivo reduzir a carga orgânica contida nos esgotos. Esse reator tem um volume de 3128 m³, altura de 7,8 metros e um diâmetro de 22,6 metros.

O Efluente do reator UASB é lançado numa lagoa facultativa (Figura 2b), que representa a última etapa do tratamento biológico da ETE Vila União. Essa lagoa tem 220 metros de comprimento, 110 metros de largura e 1,5 metros de profundidade. O efluente final da ETE é descartado através de uma única tubulação localizada na parte superior da lagoa e, é lançado no corpo receptor, o córrego Água Fria. O lodo biológico produzido no reator UASB é lançado em leitos de secagem que tem por finalidade reduzir o teor de umidade do lodo. A descarga desse lodo, feita diretamente do reator UASB, é realizada a cada mês em quantidade média que varia entre 33,6 e 50 m³ de lodo.

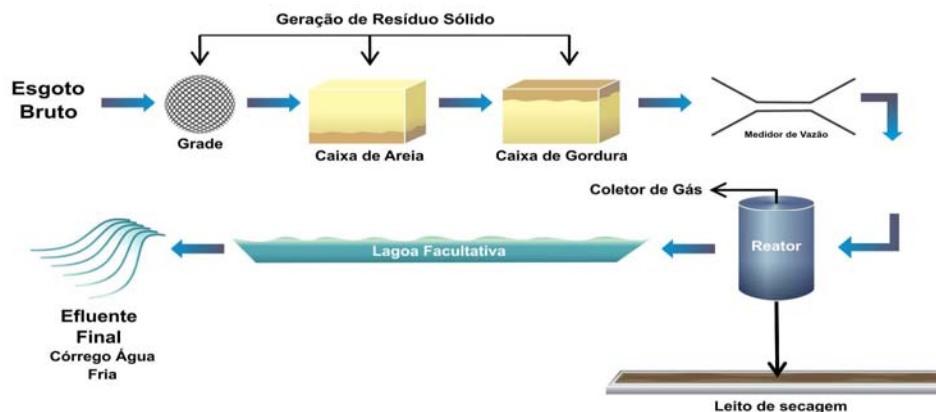


Figura 1. Desenho esquemático da ETE Vila União, localizada em Palmas, Tocantins, Brasil

Coleta, preparo das amostras e procedimentos analíticos

As amostras foram coletadas em leitos de secagem da estação de tratamento de esgoto Vila União. Os lodos LD-1 e LD-10 são lodos tipicamente anaeróbios e a amostra LD-6 é um lodo misto, rico em cloreto férrico. Para a determinação de metais pesados, as amostras foram digeridas em água régia (HCl:HNO₃, 3:1, v/v), seguindo recomendações de Melo e Silva (2008).

Os procedimentos analíticos usados na determinação das características químicas dos lodos residuais são apresentados na Tabela 1. O espectrômetro utilizado na análise de metais foi o ICP-OES, modelo ICAP 6000 da Thermo Scientific. O espectro de infravermelho foi obtido em Espectrofotômetro FTIR, Thermo Nicolet, modelo Nexus 470. O Analisador elementar usado no experimento foi o CE Instruments, Modelo EA 1110. O Difratorômetro de raios-X utilizado foi um modelo XRD-6000, Marca SHIMADZU. O MEV usado no experimento era da Marca Philips, Modelo XL30 – ESEM.

Tabela 1. Métodos analíticos aplicados na caracterização química do lodo de esgoto

Variável analítica	Método analítico
Umidade	ASTM D 3173-85
Cinzas	ASTM D 2415-66
Material volátil	ISO 5623-74
Fe, Zn, Mn, Co, Ni, Cr, Pb	ICP-OES
C, N, H, S	Análise elementar



Figura 2. ETE Vila União, estado do Tocantins, Brasil: (a) Reator UASB e (b) Lagoa Facultativa

Resultados e Discussão

Análises Imediata e Elementar dos Lodos Residuais

Os Lodos LD-1 e LD-6 apresentaram teores de umidade de 12,0 e 11,5%, respectivamente. Na amostra de LD-10 foi detectada a menor umidade (Tabela 2). O maior teor de cinzas foi observado na amostra LD-6 (46,2%), possivelmente devido a uma elevada quantidade de ferro advindo do tratamento físico-químico do lodo com cloreto férrico ($FeCl_3$). A análise de material volátil mostrou que a amostra LD-10 apresentou a maior concentração de matéria orgânica (57,8%). A menor concentração foi detectada em LD-6 (40,6%), por ser esse lodo rico em

material inorgânico. As características orgânicas e inorgânicas das amostras foram também verificadas através da análise elementar (CNH) dos lodos. Os lodos LD-1 e LD-10 apresentaram maior conteúdo de carbono, 27,0%. Na amostra LD-6, foi percebido o menor teor, 15,0% (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados das análises Gravimétricas e Elementar das amostras de lodos de esgotos

Método Analítico	Lodos		
	LD-1	LD-6	LD-10
Umidade (%)	12,0	11,5	6,7
Cinzas (%)	32,2	46,2	31,8
Material Volátil (%)	53,9	40,6	57,8
Carbono Fixo (%)	1,9	1,8	3,7
Carbono (%)	27,0	15,0	27,0
Hidrogênio (%)	4,4	3,6	3,7
Nitrogênio (%)	3,6	2,7	2,7
Enxofre (%)	2,7	5,3	3,1

Determinação de Metais na amostra de Lodo LD-1

Do ponto de vista ambiental, o metal pesado pode ser entendido como aquele que, em determinados teores e tempo de exposição, oferece risco sanitário, comprometendo a atividade biológica dos seres vivos. Os metais pesados possuem efeito cumulativo no organismo e podem provocar, desta forma, intoxicações crônicas, cânceres, problemas cardíacos e respiratórios e alergias. Os principais metais pesados detectados na amostra de lodo LD-1 foram o Ferro (Fe), Zinco (Zn), Manganês (Mn), Chumbo (Pb), Cobre (Co), Níquel (Ni) e Cromo (Cr). O ferro total apresentou a maior concentração (28911 mg/kg) e o níquel a menor delas (24 mg/kg), conforme Tabela 3.

Segundo Corrêa (2004), o lodo é uma importante fonte de matéria orgânica, micro e macronutrientes. A sua destinação no solo pode conferir maior capacidade de retenção de água, maior resistência à erosão, diminuição do uso de fertilizantes minerais, maior resistência da planta aos fitopatógenos e aumento da produtividade da cultura. Entretanto, a presença de metais pesados no bio sólido pode comprometer a sua aplicação na agricultura.

A contaminação das plantas por metais pesados depende de sua mobilidade no solo e de sua biodisponibilidade. Esses elementos apresentam baixas solubilidade e mobilidade no solo, com baixo risco de contaminação (Muchovej e Obreza, 2004). Deve-se considerar que os metais pesados do bio sólido encontram-se combinados a compostos orgânicos e que são menos absorvidos pelas plantas do que os que podem ser encontrados em fertilizantes químicos comerciais (Frosta e Ketchum Júnior, 2000). De acordo com Canellas *et al.*, (2000), uma fração

da matéria orgânica do lodo, não-biodegradável, tem a capacidade de complexar metais e, isso reduz o conteúdo disponível desses elementos para o processo de absorção pelos vegetais.

Tabela 3. Determinação Quantitativa de alguns metais de amostra de Lodo LD-1, de Reator UASB, usando Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP – OES)

Parâmetro Analisado	Resultado (mg/kg)	Resolução CONAMA 375 (mg/kg) (Brasil, 2006)
Ferro total	28911	-
Zinco	892	2800
Manganês	82	-
Chumbo	47	300
Cobre	219	1500
Níquel	24	420
Cromo total	39	1000

A Resolução CONAMA Nº 375, de 29 de agosto de 2006, “define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados” (Brasil, 2006). Segundo esse documento, os lotes de lodo de esgoto e de produtos derivados, para o uso agrícola, devem respeitar os limites máximos de concentração de alguns metais e de aspectos microbiológicos. Como observado na Tabela 3, todos os metais determinados no lodo LD-1 apresentaram concentrações inferiores aos valores limites estabelecidos pela resolução brasileira. No entanto, é importante verificar também a qualidade microbiológica do resíduo antes de sua aplicação no solo. Os parâmetros definidos por essa resolução para biossólido do tipo classe A são: coliformes termotolerantes (<1000 NMP / g de Sólidos Totais), ovos viáveis de helmintos (< 0,25 ovo / g de Sólidos Totais), *salmonella* (ausência em 10 g de Sólidos Totais) e vírus (< 0,25 UFF / g de Sólidos Totais).

De acordo com Chiba (2005), um aspecto importante que deve ser levado em consideração é a acumulação e biomagnificação de metais pesados na cadeia alimentar. Os seres humanos podem se contaminar por esses elementos químicos através da ingestão de partes comestíveis de plantas contaminadas, de consumo de animais previamente contaminados ou de subprodutos preparados com estes vegetais. Simonete e Kiehl (2002) avaliaram a aplicação de lodo de esgoto em cultivares de milho e o comportamento do ferro e cobre acumulado pelas plantas. Os pesquisadores verificaram, através da análise de regressão, que os dois metais apresentaram um comportamento linear crescente ($R^2 = 0,958$ e $R^2 = 0,976$, respectivamente) com as doses do resíduo. Os incrementos de ferro proporcionados pela adição do resíduo variaram, da menor para a maior dose aplicada, em relação ao cultivo sem aplicação de lodo, de 18% a 159%, respectivamente. Para o cobre a variação foi de 38% a 62%, respectivamente.

Com relação ao tratamento térmico de lodo residual, alguns pesquisadores observaram que o conteúdo de metais pode atuar nas reações catalíticas durante o processo de pirólise, facilitando a degradação térmica do resíduo. *Fonts et al.*, (2009) determinaram que o teor de metais da biomassa favoreceu um aumento do rendimento da fração gasosa e a diminuição do percentual da fração líquida. Domínguez, Menéndez e Pis (2006) observaram que a produção de H₂ era maior quando foi empregado um lodo com maior teor de metais.

Análise de Minerais e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos Lodos Residuais

Foram determinados os principais minerais presentes nas amostras do lodo residual LD-1, através da técnica Difratometria de Raio-X (DRX). O difratograma, Figura 3, apresenta picos característicos de fase cristalina, dos seguintes minerais: caulinita, quartzo, gibsitita, albita, magnetita, dolomita e rutilo. Diversas estruturas cristalinas foram observadas através da análise MEV do lodo residual. As micrografias revelam que a morfologia da amostra possui superfície com aspecto irregular, com vazios e aberturas. Não há presença evidente e em grande quantidade de partículas com diâmetros definidos, havendo a presença de elementos de composição química variada.

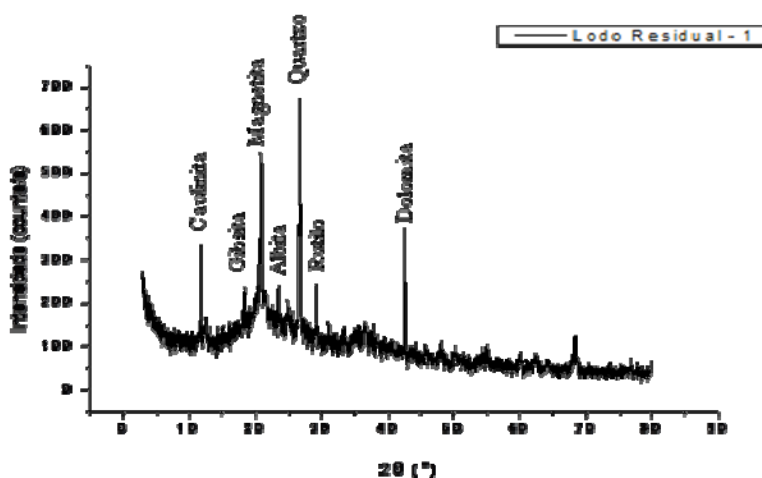


Figura 3. Difratograma do Lodo Residual LD-1, de Reator UASB, Palmas, Tocantins, Brasil

A heterogeneidade da amostra de lodo com magnificação de 500x foi melhor observada quando foi realizada a microscopia com magnificações de 1000x e 5000x, conforme Figura 4. Estruturas aparentemente de origem microbiológica também foram observadas com o recurso da microscopia eletrônica de varredura, por ser o lodo de esgoto, uma mistura de substâncias que geralmente se caracteriza por apresentar minerais, colóides e partículas provenientes de matéria orgânica decomposta.

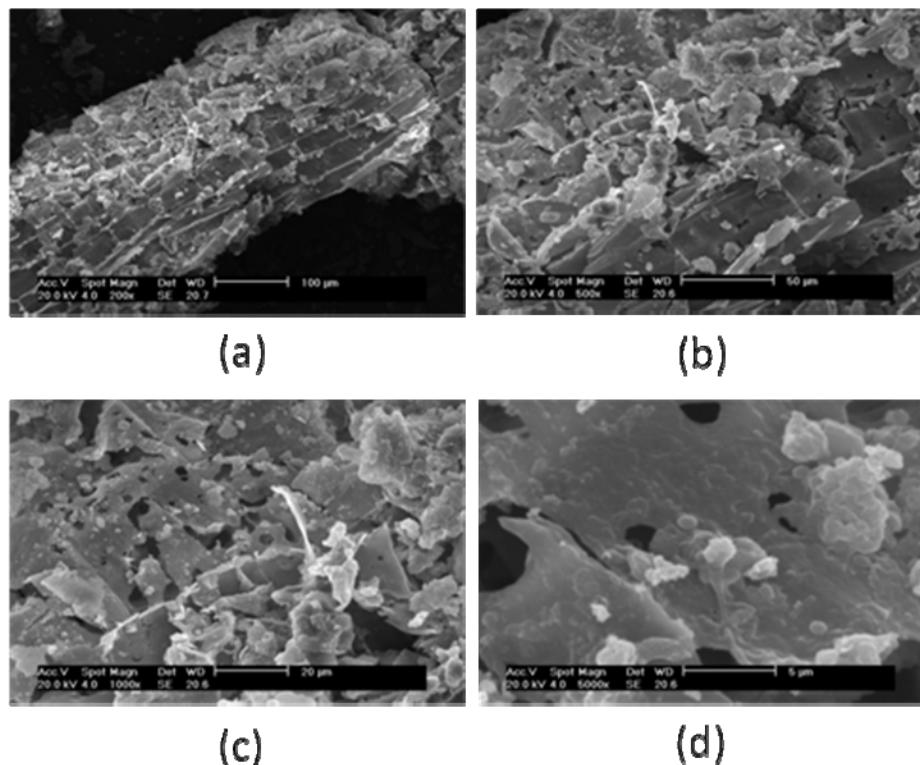


Figura 4. Microfotografias do Lodo LD-1, obtidas com MEV, com magnificações de: (a)200, (b)500, (c)1000 e (d)5000x

Análise de FTIR do Lodo LD-1

A banda larga na região de $3600 - 3200 \text{ cm}^{-1}$ é causada pelas vibrações de estiramento dos grupos O – H (Água, álcoois, fenóis e ácidos carboxílicos) e N - H (aminas e amidas). A frequência de alongamento de álcoois e fenóis é cerca de 3600 cm^{-1} , de amidas primárias e aminas em torno de 3500 e 3400 cm^{-1} , e de amidas secundárias em torno de 3350 cm^{-1} . Os dois picos ao redor 3.000 cm^{-1} são típicos da deformação axial de C – H de estruturas alifáticas ($2980 - 2920 \text{ cm}^{-1}$).

Uma banda de menor intensidade, cerca de 2300 cm^{-1} , pode estar associada com a vibração de estiramento do grupo funcional nitrila (Figura 5). Fonts *et al.*, (2009) também observaram o grupo das nitrilas em torno de 2300 cm^{-1} quando analisaram lodo de esgoto e, segundo os autores, os compostos de nitrogênio são comuns nesse tipo de resíduo. Pokorna *et al.*, (2009) estudaram a composição elementar do lodo de esgoto e obtiveram teores de nitrogênio de 3,5% para lodo digerido e 7,9% para lodo aeróbio do sistema de lodos ativados. Barneto *et al.*, (2009) encontraram 4,91% de nitrogênio em lodo de esgoto fresco.

Entre 1700 e 1400 cm^{-1} , aparecem três picos claros que são causados por diferentes grupos funcionais. O primeiro pico (1647 cm^{-1}) se situou em torno da frequência de alongamento do grupo carbonila de amidas (CONH, 1650 - 1550 cm^{-1}). Segundo Silverstein *et al.*, (2007), no estado sólido, as amidas secundárias simples de cadeia aberta absorvem em 1640 cm^{-1} , e a frequência da carbonila das amidas terciárias não depende do estado físico da amostra, e a absorção desse grupo se situa entre 1680 e 1630 cm^{-1} . De acordo com Fonts *et al.*, (2009) o grupo funcional das amidas pode estar presente no lodo de esgoto, sendo o mesmo proveniente do processo de desnaturação das proteínas dos microrganismos. Esse pico de 1647 cm^{-1} também pode estar associado a dupla ligação de alcenos (1675 – 1645 cm^{-1}) bem como a compostos aromáticos (1600-1500 cm^{-1}). O segundo de 1550 cm^{-1} também pode ser característico de grupamento aromático. O terceiro pico dessa região do espectro, situado entre 1300 e 1500 cm^{-1} poderia ser atribuído aos grupos CH₂ e CH₃. Este grupo CH₂ pode ser encontrado, por exemplo, em hidrocarbonetos e celulose, que são componentes típicos de lodos de esgotos.

Em torno de 1250 cm^{-1} , existe um pequeno pico, que pode ser devido ao efeito do acoplamento da deformação angular no plano da ligação O - H e a deformação C - O, presentes em ácidos carboxílicos. Na região de impressão digital, existem duas bandas entre 1150 e 1000 cm^{-1} . Parece que a contribuição mais importante para este pico seria a do grupo de silicatos (1080 cm^{-1}). A última parte da região de impressão digital (900 cm^{-1}) é menos representativa para a identificação de grupos funcionais, mas sabe-se que poderia representar estruturas cicloalifáticas, estruturas aromáticas e alguns derivados halogenados e os compostos contendo fósforo. Segundo Silverstein *et al.*, (2007) o espectro observado nessa região é, com frequência, complexo, com as bandas se originando de modos de vibração acoplados. Essa parte do espectro é muito importante para a determinação da estrutura do composto quando examinada com referência a outras regiões.

O lodo de esgoto é constituído principalmente de componentes de microrganismos, principalmente bactérias (ácidos nucleicos, proteínas, carboidratos e lipídios), substâncias húmicas formadas durante a decomposição bacteriana, material orgânico não digerido (celulose) e material inorgânico. Zhang *et al.*, (2011) determinaram os seguintes grupos funcionais em amostras de lodo de esgoto anaeróbio: hidrocarbonetos alifáticos, ácidos carboxílicos, amidas, aminas, aromáticos e outros compostos orgânicos com halogênios, silício e fósforo.

Gascó *et al.*, (2005) estudaram o teor das substâncias húmicas em diferentes amostras de lodos de esgotos e encontraram concentrações que variaram entre 2,8 e 14,4%. As maiores concentrações foram observadas nas amostras digeridas, e isso, pode ser atribuída ao processo de decomposição de microrganismos durante a sua mineralização.

Brum (2005) relata que as substâncias húmicas são muito importantes para a fertilidade dos solos, e não têm caráter tóxico, apesar de apresentarem uma estrutura complexa com elevado teor de aromáticos e muitos grupamentos carboxílicos. Canellas *et al.*, (2000) verificaram a presença do grupo carboxílico em lodo de esgoto e relata valor de 445 cmol/kg. Segundo os autores esse grupo funcional faz parte da estrutura molecular dos ácidos húmicos encontrados abundantemente no resíduo.

A pirólise é uma prática que pode ser empregada para o aproveitamento do lodo de esgoto como biomassa. Nesse processo térmico, são gerados produtos com valores agregados, tais como bio-óleo, gases e carvão (Pedroza *et al.*, 2010). Os grupos funcionais orgânicos do lodo são recuperados, na sua maioria, no líquido de pirólise (bio-óleo). O bio-óleo é constituído de hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, juntamente com mais de 200 compostos identificados e tem um alto valor energético. Segundo Sánchez *et al.*, (2009), os compostos do bio-óleo podem ser agrupados nas seguintes classes: n-alcanos e 1-alcenos; hidrocarbonetos monoaromáticos, compostos aromáticos contendo nitrogênio e oxigênio; nitrilas alifáticas e aromáticas; ácidos carboxílicos; longas amidas de cadeia alifática e esteróides.

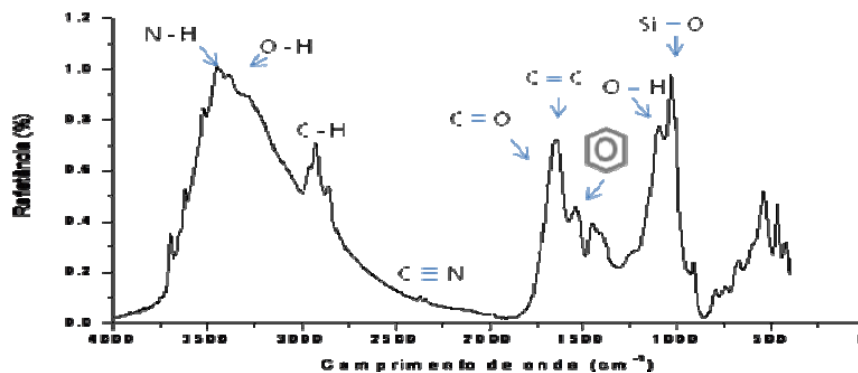


Figura 5. Espectro de FTIR de lodo de esgoto doméstico, de Palmas, Tocantins, Brasil

Conclusões

O lodo de esgoto estritamente doméstico possui geralmente baixas concentrações de metais tóxicos, mas quando esgotos industriais entram em contato com rede coletora de esgoto doméstico, este pode ter sua concentração de metais aumentada significativamente. Altas concentrações de metais em lodos resultam em ações mais restritivas quanto ao uso desse material para fins agrícolas.

Dentre os processos mais comuns de disposição de lodo de esgoto citam-se: *landfilling*, reuso agrícola, aterro sanitário e incineração. Todavia, esses processos convencionais de disposição apresentam certas limitações. *Landfilling* ocupa uma extensa área e talvez seja a grande desvantagem desse sistema. A reciclagem agrícola de biossólidos pode resultar no acúmulo de compostos nocivos, tais como metais pesados, no solo.

O tratamento térmico por pirólise é uma alternativa ambientalmente correta a ser empregada no reaproveitamento de lodo de esgoto. As frações, líquida e gasosa, obtidas durante o processo apresentam elevados poderes caloríficos que podem ser reaproveitados no próprio processo pirolítico. O resíduo sólido gerado durante o processo também pode ser reaproveitado na construção civil.

Referências bibliográficas

- Andreoli, C. V., Tamanin, C. R., Holsbach, B., Pegorini, E. S., Neves, P. S. (2006) Uso de lodo de esgoto na produção de substrato vegetal, In: *Biossólidos - Alternativas de uso de resíduos do saneamento*, Editora ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental), Rio de Janeiro, 398 p.
- Barneto, A. G., Carmona, J. A., Alfonso, J. E., Blanco, J. (2009) Kinetic models based in biomass components for the combustion and pyrolysis of sewage sludge and its compost, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **86**, 108 – 114.
- Brasil (2006) Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA no 375, de 29 de agosto de 2006. *Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em: set. 2011.
- Brum, M. C. (2005) Remoção de ácido húmico da água por precipitação e flotação com a utilização de surfatantes catiônicos, *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 61p.
- Canellas, L. P., Santos, G. A., Moraes, A. A., Rumjanek, V. M., Olivares, F. L. (2000) Avaliação de características de ácidos húmicos de resíduos de origem urbana: Métodos espectroscópicos (UV-VIS, IV, RMN) e microscopia eletrônica de varredura, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **24**, 741-750.
- Ceballos, B. S. O. (2004) Avaliação sanitária de efluente e da alfaca irrigada com esgotos tratados, *XI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, ABES, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.
- Chiba, M. K. (2005) Uso de lodo de esgoto na cana-de-açúcar como fonte de nitrogênio e fósforo: Parâmetros de fertilidade do solo, nutrição da planta e rendimentos da cultura, *Tese de Doutorado*, Universidade de São Paulo, 142p.
- Corrêa, R.S. (2004) Efficiency of five biosolids to supply nitrogen and phosphorus to ryegrass, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, **39**, 1133 – 1139.
- Dias, B. O., Silva, C. A., Soares, E. M. B., Bettiol, W., Guerreiro, M. C., Belizário, M. H. (2009) Infravermelho na caracterização de ácidos húmicos de latossolo sob efeito de uso contínuo de lodo de esgoto, *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, **33**, 885-894.
- Domínguez, A., Menéndez, J. A., Pis, P.P. (2006) Hydrogen rich fuel gas production from the pyrolysis of wet sewage sludge at high temperature, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **77**, 127-132.
- Fonts, I., Azuara, M., Gea, G., Murillo, M. B. (2009) Study of the pyrolysis liquids obtained from different sewage sludge, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **85**, 184 – 191.
- Frosta, A. L., Ketchum Júnior, L. H. (2000) Trace metal concentration in durum wheat from application of sewage sludge and commercial fertilizer, *Advances in Environmental Research*, **4**, 347 – 355.

- Gascó, G., Méndez, A., Gascó J. M. (2005) Preparation of carbon- based adsorbents from sewage sludge pyrolysis to remove metals from wáter, *Desalination*, **180**, 245-251.
- Leal, E. R. M. (2010) Aplicação do processo de pirólise lenta ao lodo de esgoto adicionado de óxido de cálcio e ferro para obtenção de bioóleo combustível, *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Tocantins, 110p.
- Luduvic, M. (2001) Processos de estabilização de lodos. In: *Lodos de Esgotos – Tratamento e Disposição Final*. ABES, Rio de Janeiro, 484p.
- Melo, L. C. A., Silva, C. A. (2008) Influência de métodos de digestão e massa de amostra na recuperação de nutrientes em resíduos orgânicos, *Química Nova*, **31**, 556-561.
- Metcalf & Eddy, INC. (2002) *Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse*, Ed. McGraw-Hill, New York, 1334 p.
- Muchovej, R.M., Obreza, T. A. (2004) *Biosolids: Are these residuals all the same?*, SS-AGR-167. Series of the Agronomy Department. Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 3p.
- Oliveira, F. C. (2000) Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num latossolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar, *Tese de Doutorado*, Universidade de São Paulo, 247p.
- Pedroza, M. M., Vieira, G. E. G., Sousa, J. F., Pickler, A. C., Leal, E. R. M., Milhomen, C. C. (2010) Produção e Tratamento de Lodo de Esgoto – Uma Revisão, *Liberato*, **11**, 147-157.
- Pokorna, E., Postelmans, N., Jenicek, P., Schreurs, S., Carleer, R., Yperman, J. (2009) Study of bio-oils and solids from flash pyrolysis of sewage sludges, *Fuel*, **88**, 1344-1350.
- Sanchez, M. E., Menéndez, J. A., Domínguez, A., Pis, J. J., Martínez, O., Calvo, L. F., Bernad, P. L. (2009) Effect of pyrolysis temperature on the composition of the oils obtained from sewage sludge, *Biomass and Bioenergy*, **33**, 933-940.
- Silverstein, R. M., Francis, X., David, J. (2007) *Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos*, Editora LTC, 7ª Ed., 490p.
- Simonete, M. A., Kiehl, J. C. (2002) Extraction and bioavailability of heavy metals in response to the addition of sewage sludge to the soil, *Scientia Agricola*, **59**, 555-563.
- Vieira, G. E. G., Pedroza, M. M., Sousa, J. F., Pedroza, C. M. (2011) O Processo de Pirólise como Alternativa para o Aproveitamento do Potencial Energético de Lodo de Esgoto – Uma Revisão, *Revista Liberato*, **12**, 81-95.
- Zhang, B., Xiong, S., Xiao, B., Yu, D., Jia, X. (2011) Mechanism of wet sewage sludge pyrolysis in a tubular furnace, *International Journal of Hydrogen Energy*, **36**, 355-363.