

## II-144 – DETERMINAÇÃO DE METAIS PESADOS E DE MACRO E MICRONUTRIENTES EM LODOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO VISANDO SUA UTILIZAÇÃO NA AGRICULTURA

**Keyve Mayane Bezerra<sup>(1)</sup>**

Química pela Universidade Federal do Ceará. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (DEHA/UFC).

**Francisco Suetonio Bastos Mota**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará. Mestre em Saúde Pública pela Universidade de São Paulo e Doutor em Saúde Pública pela Universidade de São Paulo. Professor Titular da Universidade Federal do Ceará.

**Ronaldo Stefanutti**

Doutor em Ciências. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA/UFC).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Júlio César, 1363 – Montese - Fortaleza - CE- CEP: 60425-350 - Brasil - e-mail: keyve\_mayane@hotmail.com

### RESUMO

O destino final do lodo de esgoto tem se tornado uma preocupação mundial, pois exige uma alternativa segura em termos de saúde pública e ambientalmente aceitável. Em associação com seu alto teor de matéria orgânica, os lodos contêm consideráveis quantidades de macro e micronutrientes e sais minerais que exercem um papel fundamental na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo (CUKJATI *et al.*, 2012). Assim, o presente trabalho consiste em caracterizar o lodo de esgoto visando à utilização na agricultura, possibilitando rotas alternativas para seu destino final, que não seja o aterro sanitário, visto que esta prática estará comprometida de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). As concentrações determinadas para metais pesados nos lodos estudados indicaram que os mesmos poderiam ser utilizados na agricultura, pois apresentaram baixos valores em relação aos limites estabelecidos pela legislação, havendo restrição apenas quanto ao lodo de fossa séptica, devido à faixa de concentração do zinco exceder o limite máximo permitido pela Resolução Conama nº 375 / 2006. Entretanto, devem-se tomar alguns cuidados referentes à possível bioacumulação de metais em plantas e animais pelas sucessivas aplicações de lodo, sendo, assim, conveniente realizar estudos sobre a dinâmica desses metais no solo. Os nutrientes encontrados nos lodos podem contribuir para a produção agrícola e para a manutenção da fertilidade do solo, devendo-se considerar a toxidez, quando forem elevadas as concentrações desses nutrientes para as plantas, e realizar acompanhamento visando à adoção de medidas de controle, quando necessárias.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo de esgoto, Reúso agrícola, Metais pesados, Macro e micronutrientes.

### INTRODUÇÃO

O destino final do lodo de esgoto tem se tornado uma preocupação mundial, pois exige uma alternativa segura em termos de saúde pública e ambientalmente aceitável. Embora a gestão do lodo de esgoto seja bastante complexa e corresponda de 20% a 60% dos custos operacionais de uma estação de tratamento de esgoto, o planejamento e execução do destino final têm sido negligenciados nos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil (ANDREOLI, 2001). Basicamente, as fontes de geração de lodo em uma estação de tratamento de esgoto são as unidades de operações primárias, secundárias ou biológicas e os processos de tratamento de lodo.

A composição química do lodo de esgoto é variável, devido a uma série de fatores, como processos de tratamento e pós-tratamento, tipo de composição da matéria orgânica contida no esgoto, atividades agroindústrias ou atividades misturadas que podem agregar organismos patogênicos e materiais húmicos (SCHOWANEK *et al.*, 2004).

A disposição inadequada de lodo séptico implica na contaminação do solo e dos recursos hídricos, devido à presença de nutrientes, matéria orgânica, poluentes inorgânicos e organismos patogênicos, favorecendo, também, a criação de locais adequados para a proliferação de vetores e a disseminação de doenças (HARTMANN *et al.*, 2009).

Em associação com seu alto teor de matéria orgânica, os lodos contêm consideráveis quantidades de macro e micronutrientes e sais minerais que exercem um papel fundamental na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo (CUKJATI *et al.*, 2012).

A elevada produção de lodo, aliada à necessidade de destinação final adequada, tem gerado sérios problemas ambientais no país. Mais de 90% do lodo produzido no mundo tem três principais formas de disposição final: incineração, disposição em aterros e uso agrícola (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001). No Brasil, a maior parte do lodo gerado é disposta em aterro sanitário.

A Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e preconiza o tratamento e o reaproveitamento dos resíduos sólidos, permitindo somente a disposição em aterros sanitários de resíduos considerados inservíveis, que não é o caso do lodo proveniente de esgotos sanitários. Assim, numa perspectiva de realizar estudos que viabilizem alternativas de tratamento e/ou disposição final sanitária e ambientalmente adequada para o lodo de esgoto, realizou-se esta pesquisa.

Assim, o presente trabalho consiste em caracterizar o lodo de esgoto visando à utilização na agricultura, possibilitando rotas alternativas para seu destino final, que não seja o aterro sanitário, visto que esta prática estará comprometida, de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Este trabalho teve como objetivo determinar a presença de metais pesados e de macro e micronutrientes em lodos de estações de tratamento de esgoto da Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará, avaliando sua adequação para aplicação na agricultura, considerando os limites preconizados na legislação brasileira.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foram avaliadas amostras de lodo “in natura” provenientes de estações de tratamento de esgotos da Região Metropolitana de Fortaleza, e de lodo de fossas sépticas.

As amostras de lodo de esgoto foram retiradas de reatores anaeróbios da ETE – Aracapé III e ETE – Pajuçara, e de decanto-digestor da ETE – Pequeno Mondubim. Os lodos de fossa séptica foram encaminhados a um tanque de armazenamento existente na ETE – Nova Metrópole, de onde foram retiradas as amostras.

Foi realizada amostragem mensal de lodo em cada ETE, no período de agosto a novembro de 2013, sendo coletadas três amostras de cada local, totalizando 12 amostras.

Na caracterização do lodo de esgoto quanto à presença de substâncias inorgânicas, foram determinadas, de acordo com os Anexos II e IV da Resolução CONAMA Nº 375 de 2006, as seguintes substâncias: Arsênio (As), Bário (Ba), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Molibdênio (Mo), Níquel (Ni), Selênio (Se) e Zinco (Zn).

Além disso, determinadas as concentrações de Cálcio (Ca), Sódio (Na), Potássio (K), Magnésio (Mg), Alumínio (Al), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Vanádio (V) e Cobalto (Co), pois são elementos inorgânicos que funcionam como nutrientes para as plantas.

Antes de determinar os teores desses elementos, realizou-se a abertura das amostras de lodo por meio da digestão ácida com aquecimento assistido por radiação micro-ondas em frascos fechados, para garantir a retenção de elementos voláteis e eliminar e/ou minimizar contaminações.

Por fim, as concentrações totais dos metais extraídos das amostras foram determinadas por meio de espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), utilizando-se um espectrômetro de marca Perkin Elmer, modelo Optima 4300 DV com visão dupla.

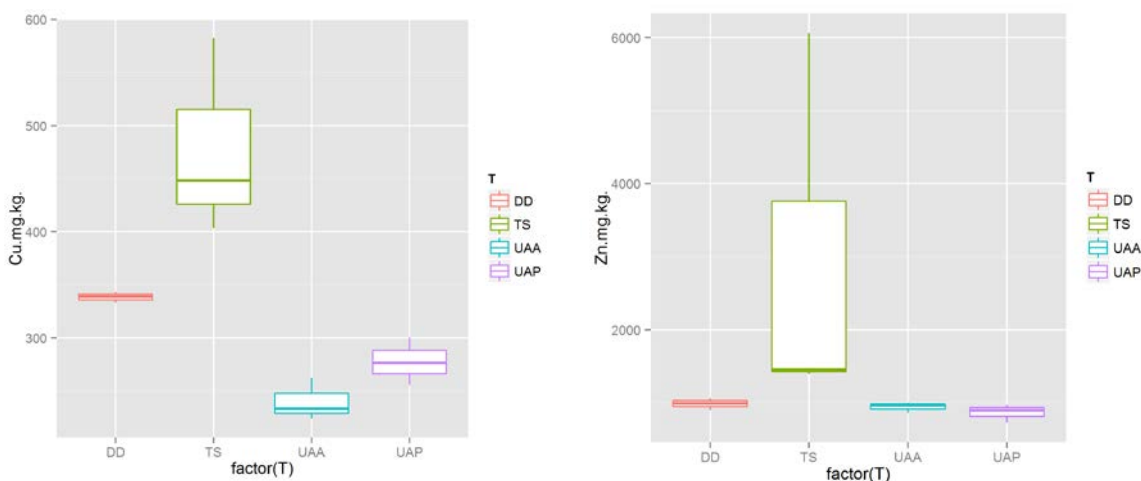
## RESULTADOS

### Metais Pesados

A Resolução Conama nº 375 / 2006 estabelece critérios para uso agrícola de lodo gerado em estações de tratamento de esgoto sanitário e determina as concentrações máximas permitidas de alguns metais pesados no lodo de esgoto. Nesse contexto, foram realizadas análises dos metais pesados referidos na Resolução Conama nº 375 /2006, com exceção do mercúrio, não sendo possível determinar as concentrações de As, Ba, Cd, Pb, Cr, Ni e Se, por se encontrarem com valores abaixo dos limites detectáveis pelo método utilizado.

De acordo com Correia (2009), durante a estabilização do lodo, os metais são metabolizados pelos microrganismos por meio da adsorção ou quelação, sendo associados às cadeias carbônicas, o que dificulta a atomização dos metais e, conseqüentemente, sua detecção fica limitada. No entanto, isso pode justificar a dificuldade em quantificar os metais citados anteriormente.

Para visualizar a dispersão, simetria e variação nos resultados de metais pesados e nutrientes, construíram-se diagramas de caixa (*box-plot*) para cada parâmetro. Na Figura 1 apresentam-se diagramas de caixa (*box-plot*) para os parâmetros cobre e zinco.



DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-Pequeno Mondubim; UAA: Lodo de reator UASB da ETE-Aracapé III; UAP: Lodo de reator UASB da ETE-Pajuçara e TS: Lodo de tanque séptico.

**Figura 1: Box-plot com percentis de 25% e 75% para concentração de cobre e zinco em amostras de lodo da RMF.**

A Figura 1 mostra que ocorreu maior dispersão e assimetria nos dados da concentração de cobre e zinco para o lodo de tanque séptico, enquanto houve menor dispersão para os do lodo de decanto-digestor. Quanto aos lodos da ETE- ARACAPÉ III e PAJUÇARA, percebe-se maior dispersão nos dados de cobre para ambos, e, menor para o zinco.

A grande dispersão significa que existem grandes diferenças de concentração nas diferentes amostras, podendo ser consequência da sazonalidade amostral e, portanto, indicam que a quantificação destes deve ser um procedimento padrão na ETE, para impedir que um material contaminado possa vir a ser utilizado.

As concentrações de molibdênio estão indicadas na Tabela 1, ressaltando-se que o mesmo não foi detectado no lodo da ETE-Pajuçara.

**Tabela 1 - Concentrações, em mg/kg, de molibdênio em amostras de lodo.**

Concentração de Molibdênio (mg/kg)								
DD			LUA			TS		
I	II	III	I	II	III	I	II	III
7,12	13,10	15,65	21,02	15,82	20,68	25,17	4,05	8,08

DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-Pequeno Mondubim; LUA: Lodo de reator UASB da ETE-Aracapé III e TS: Lodo de tanque séptico. Os algarismos I, II e III representam, respectivamente, 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> coleta de lodo.

Analisando a Figura 1, observa-se que o metal com maior concentração mediana em todos os lodos foi o zinco, enquanto que o Molibdênio foi o metal de menor teor (Tabela 1). O lodo séptico apresentou maior concentração mediana tanto de zinco quanto de cobre, enquanto que os demais lodos não apresentaram grandes variações desses metais. Segundo Smith (2009), essa característica é comum em amostras de lodo de esgoto.

De forma geral, os resultados da Tabela 1 e Figura 1 mostram que os lodos apresentaram baixas concentrações de metais pesados, com exceção do zinco contido no lodo de tanque séptico. Isso se deve principalmente ao fato da origem doméstica, não evidenciando possíveis contaminações provenientes de indústrias, que muitas vezes utilizam estes elementos na produção, descartando-os no esgoto.

Segundo os resultados, os lodos poderiam ser utilizados na agricultura, quanto à presença de metais pesados, pois apresentaram baixos valores em relação aos limites estabelecidos pela legislação (Resolução Conama 375/2006), porém, há restrição, apenas, ao lodo de fossa séptica, devido à faixa de concentração do zinco exceder o limite máximo de concentração permitido.

A Tabela 2 mostra a comparação entre as faixas de metais potencialmente tóxicos encontrados nas amostras de lodo de esgoto e os limites preconizados pelas legislações Conama 375/2006 (BRASIL, 2006) e 40 CFR Part 503 (USEPA, 1993).

**Tabela 1: Limites das concentrações de metais pesados preconizados por Brasil (2006) e USEPA (1993).**

Parâmetro (mg/kg)	Pesquisa				Limites	
	DD	TS	LUA	LUP	Brasil (2006)	U.S. EPA (1993)
<b>Cu</b>	333,16 - 338,98	403,51 - 582,66	224,24 - 262,37	255,82 - 300,17	1500	4300
<b>Mo</b>	7,12 - 15,66	4,05 - 25,17	15,82 - 21,02	ND	50	75
<b>Zn</b>	900,51 - 1063,05	1393,88 - 6065,66	864,58 - 1000	728,62 - 969,02	2800	7500

De acordo com a Tabela 2 nota-se que os valores obtidos para as análises de metais em todas as amostras de lodo de esgoto apresentaram conformidade aos limites preconizados por Brasil (2006) e USEPA (1993) para os metais potencialmente tóxicos detectados (cobre, molibdênio e zinco), com exceção do zinco no lodo séptico, que apresentou concentração superior ao limite máximo permitido por Brasil (2006).

Segundo os resultados, os lodos poderiam ser utilizados na agricultura em relação à presença de metais pesados, pois apresentaram baixos valores em relação aos limites estabelecidos pela legislação, porém há restrição, apenas ao lodo séptico, devido à faixa de concentração do zinco exceder o limite máximo de concentração permitido pela Resolução Conama 375/2006.

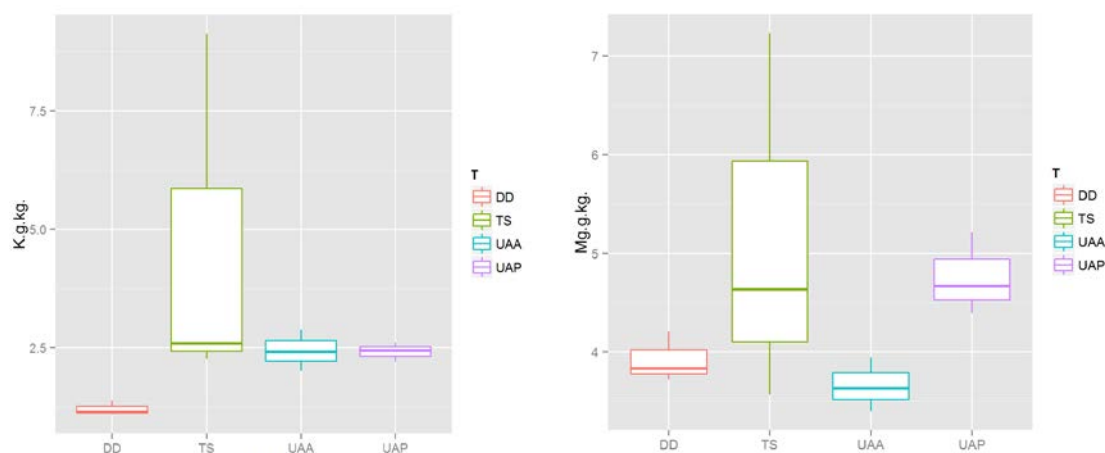
A baixa concentração de metais pesados encontrada nos lodos permite sua utilização na agricultura, devendo-se tomar alguns cuidados referentes à possível bioacumulação de metais em plantas e animais por meio de sucessíveis aplicações de lodo, sendo, assim, conveniente realizar estudos sobre a dinâmica desses metais no solo.

### Macro e Micro Nutrientes

Foram realizadas análises dos macronutrientes potássio, cálcio e magnésio, e dos micronutrientes manganês, sódio, vanádio, alumínio e ferro total, cujos resultados estão apresentados na forma de gráficos *box-plot*.

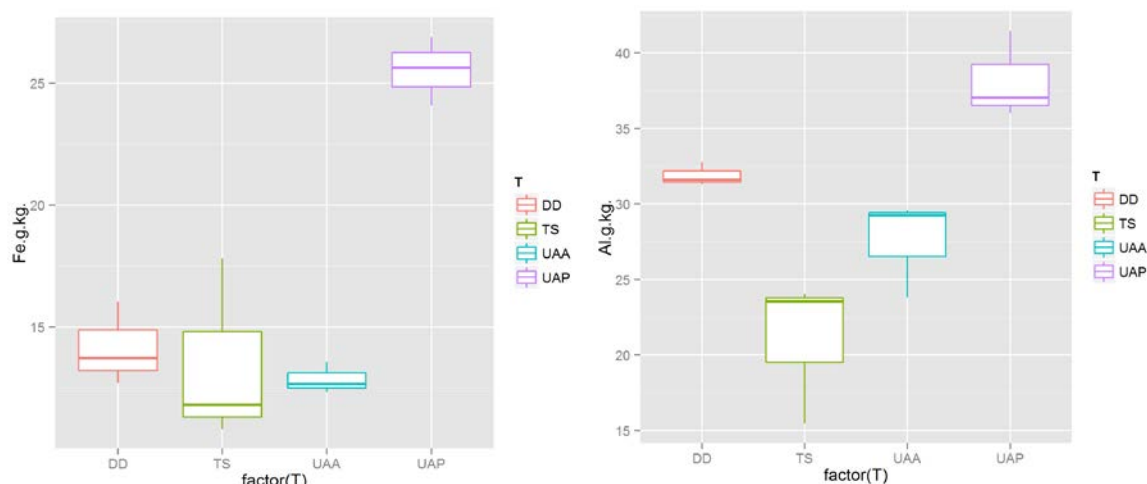
Como exemplos, apresentam-se, na Figura 2, os gráficos *Box-plot* para os macronutrientes potássio e magnésio e, na Figura 3, o gráfico *Box-plot* para os micronutrientes ferro e alumínio.

A Figura 2 mostra maior dispersão e assimetria para dados do lodo de tanque séptico. Para o potássio, tem-se menor dispersão e concentrações mais baixas em lodo de decanto-digestor. As concentrações medianas de magnésio para o lodo da ETE – PAJUÇARA e lodo séptico apresentaram valores mais elevados que os demais. As concentrações de potássio são pequenas, com exceção do lodo séptico, devido a sua alta solubilidade em água e, assim, durante o processo de tratamento de esgoto, o potássio fica contido no efluente líquido. Entretanto, mesmo com baixos teores, o potássio possui elevada assimilação pelas plantas. De um modo geral, pode-se considerar que os nutrientes encontrados nos lodos podem exercer papel fundamental na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo.



DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-Pequeno Mondubim; UAA: Lodo de reator UASB da ETE-Aracapé III e TS: Lodo de tanque séptico. Os algarismos I, II e III representam, respectivamente, 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> coleta de lodo.

**Figura 2: Gráfico *box-plot* para os macronutrientes potássio e magnésio.**



DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-Pequeno Mondubim; UAA: Lodo de reator UASB da ETE-Aracapá III e TS: Lodo de tanque séptico. Os algarismos I, II e III representam, respectivamente, 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> coleta de lodo.

**Figura 3: Gráfico *box-plot* para os micronutrientes ferro e alumínio.**

De acordo com a Figura 3, os dados do lodo séptico apresentaram maior dispersão quanto à concentração de ferro e alumínio e assimetria para os três metais. O lodo da ETE-PAJUÇARA possui maior concentração de ferro, com simetria nos dados do primeiro e terceiro metal.

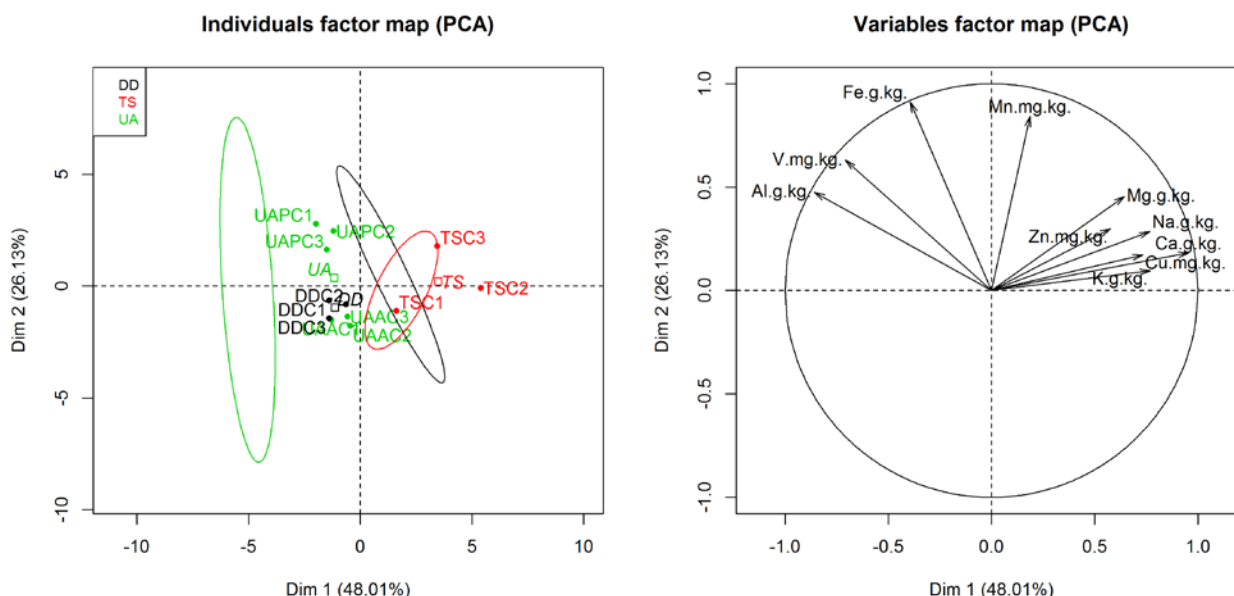
No entanto, as concentrações dos nutrientes analisados conferem aos lodos em estudo um potencial agrônomo, sendo que a necessidade desses nutrientes para as plantas varia entre as culturas. De acordo com Tsutiya *et al.* (2001), dentre os micronutrientes quantificados nas amostras de lodo, o ferro e o manganês são considerados essenciais para as plantas, enquanto que o vanádio possui benefícios e o alumínio enquadra-se como não essenciais ou sem função.

De acordo com os resultados obtidos, é possível perceber que os nutrientes encontrados nos lodos podem exercer papel fundamental na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo, devendo-se considerar a toxidez devido à elevada concentração desses nutrientes para a planta e realizar acompanhamento e adotar medidas de controle.

De forma geral, é possível perceber oscilações dos teores de nutrientes e de metais pesados entre as coletas dos lodos, que podem ser justificadas pela heterogeneidade das amostras em questão e por diversos fatores, como origem e características do esgoto, que podem influenciar na composição do lodo.

A partir do método PCA, realizaram-se gráficos onde a informação relativa ao conjunto de dados originais (substâncias inorgânicas) é sumarizada nos gráficos de *scores* e *loadings*. Observando-se o gráfico dos *loadings*, é possível identificar as variáveis que são responsáveis pelas analogias ou diferenças detectadas, enquanto o gráfico dos *scores* fornece informações acerca das amostras (Figura 4).





Nota: Na figura (a) a letra C representa coleta e, o número, a sequência da coleta. TS: Lodo de tanque séptico; UAP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA; UAA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor.

**Figura 4: Análise de Componente Principal para substâncias inorgânicas: diagrama de ordenação das amostras (scores) e formação de grupos de amostras semelhantes (a) e diagrama de ordenamento das variáveis (loadings) (b) levando-se em consideração as componentes principais 1 e 2.**

O gráfico da Análise por Componentes Principais (ACP ou PCA) explicou 74,14 % da variância total dos dados, sendo que 48,01% são explicados por PC1 e 26,13% por PC2 (Figura 4). Nota-se que três grupos distintos foram formados basicamente em função do tipo de lodo, como mostra o gráfico de ordenação das amostras (scores) (Figura 4a).

As variáveis que proporcionaram a separação desses grupos podem ser visualizadas na Figura 4b, em função da posição similar das variáveis substâncias inorgânicas (metais) nos quadrantes do gráfico de ordenação das variáveis (loadings) e das amostras no gráfico de scores (Figura 4a).

Analizando, ainda, a Figura 4 percebe-se que a componente principal 1 (PC1) distingue o grupo TS dos demais. No geral, o quadrante superior esquerdo mostra que as três coletas do lodo da ETE-PAJUÇARA apresentaram maior concentração de ferro, vanádio e alumínio. O quadrante superior direito mostra que a 3ª coleta de lodo séptico apresentou maior concentração de manganês, magnésio, sódio, cálcio, cobre, potássio e zinco.

## CONCLUSÕES

As concentrações determinadas para metais pesados nos lodos estudados indicaram que os mesmos poderiam ser utilizados na agricultura, pois apresentaram baixos valores em relação aos limites estabelecidos pela legislação, havendo restrição apenas quanto ao lodo de fossa séptica, devido à faixa de concentração do zinco exceder o limite máximo permitido pela Resolução Conama nº 375 / 2006. Entretanto, devem-se tomar alguns cuidados referentes à possível bioacumulação de metais em plantas e animais por meio de sucessivas aplicações de lodo, sendo, assim, conveniente realizar estudos sobre a dinâmica desses metais no solo.

Os nutrientes encontrados nos lodos podem contribuir para a produção agrícola e para a manutenção da fertilidade do solo, devendo-se considerar a toxidez, quando forem elevadas as concentrações desses nutrientes para as plantas, e realizar acompanhamento visando à adoção de medidas de controle, quando necessárias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREOLI, C.V.; von SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-UFMG / Companhia de Saneamento do Paraná, 2001.
2. BRASIL. Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Diário Oficial da União**, Brasília (DF), 2010. N 147, Seção 1, p.3.
3. BRASIL. Presidente do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Nº 375 de 29 de agosto de 2006. **Diário Oficial da União**, Brasília (DF), 2006. 30 ago. Seção n.167, seção 1, p.141-146.
4. CORREIA, J. E. **Caracterização físico-química e microbiológica do lodo gerado na Estação de Tratamento de Esgoto Contorno. Feira de Santana, BA**. 2009. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental) - Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual de Feira de Santana, 2009.
5. CUKJATI, N. *et al.* Composting of anaerobic sludge: An economically feasible element of a sustainable sewage sludge management. **Journal of Environmental Management** v.106 p. 48-55, 2012.
6. HARTMANN, C.M. *et al.* Definições, histórico e estimativas de geração de lodo séptico no Brasil. In: ANDREOLI, C.V. **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final**. Rio de Janeiro: Abes, 2009.
7. SCHOWANEK, D. *et al.* A risk-based methodology for deriving quality standards for organic contaminants in sewage sludge for use in agriculture: conceptual framework. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 40, p.227-251, 2004.
8. SMITH, S.R. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. **Environment International**, n. 35, p. 142-156, 2009.
9. TSUTIYA, M.T. *et al.* **Biossólidos na Agricultura**. 1ª ed. São Paulo: SABESP, 2001. 468p.
10. USEPA, 40CFR 503,1993. **Code of Federal Regulations (CFR), Title 40, Part 503, Standards for the Use Disposal of sewage Sludge**. Disponível em: <<http://ecfr.gpoaccess.gov/>>. Acesso em: Jun. 2013.