

VI-050 - ALTERAÇÕES QUÍMICAS EM TRÊS SOLOS QUE RECEBERAM DOSES CRESCENTES DE VINHAÇA

Helder Antonio de Aquino Gariglio ⁽¹⁾

Engenheiro Elétrico pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (1988). Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (2008). Analista Ambiental da Fundação Estadual do Meio Ambiente.

Endereço Profissional⁽¹⁾: Fundação Estadual do Meio Ambiente. Rodovia Prefeito Américo Gianetti, s/nº Serra Verde 31630-900 - Belo Horizonte, MG - Brasil. Telefone: (031) 39151453.

RESUMO

Objetivou-se, com a realização deste estudo, avaliar as alterações concentração de potássio, cálcio e magnésio, em um Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef) e Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd), que foram incubados durante 20 dias com doses crescentes de vinhaça (0, 40, 80, 160 e 320 m³ ha⁻¹). A concentração de potássio disponível aumentou linearmente com a dose nos solos LVef e LVAd.

PALAVRAS-CHAVE: Fertirrigação, cana-de-açúcar, águas residuárias.

INTRODUÇÃO

A atividade canavieira do Brasil se apresenta, atualmente, como uma das mais bem sucedidas no agronegócio, em nível mundial, não só pela produção de açúcar, a qual é o principal exportador, mas também pelo etanol, cujo consumo tem sido impulsionado com o desenvolvimento de motores de veículos que podem operar tanto com gasolina como com álcool.

O Brasil tem apresentado ao mundo o álcool carburante como combustível alternativo viável e ambientalmente adequado, possibilitando a substituição de combustíveis fósseis cuja queima emite grande quantidade de gases poluentes, obtendo-se, assim, uma produção mais limpa, a partir de uma fonte renovável, co-geração de energia elétrica e seqüestro de carbono. Por outro lado, não há como negar que a indústria sucroalcooleira é uma das atividades geradoras de maiores quantidades de resíduos, de diferentes características e tipologias (Almeida et al., 2007).

Embora o controle ambiental nos empreendimentos do setor sucroalcooleiro venha evoluindo ao longo dos anos, permanece como principal foco de atenção o gerenciamento das suas águas residuárias, principalmente a vinhaça, tanto pelos grandes volumes gerados quanto pelo potencial poluidor desses efluentes. Principal efluente líquido gerado na fabricação de álcool e aguardente, a vinhaça é originada no processo de destilação do mosto (caldo fermentado). De acordo com Silva et al. (2007), apresenta elevada proporção de água, predominância da matéria orgânica sobre a mineral e maior riqueza de potássio em relação aos minerais totais e aos nutrientes nitrogênio e fósforo.

A grande preocupação com a vinhaça decorre de dois principais fatores que são a sua composição química e o grande volume gerado que lhe conferem um alto poder poluente se lançada, sem tratamento, em cursos d'água. De acordo com Doll e Foresti (2010), para cada litro de álcool produzido, são gerados 12,5 litros de vinhaça, dependendo das condições locais. Em relação à produção de aguardente, essa proporção é reduzida para 5 a 6 L (Pascoal Filho, 2007).

A presença desse efluente em corpos hídricos pode causar depleção nos níveis do oxigênio dissolvido no meio, criando condições adversas à sobrevivência da biota aquática, uma vez que, para degradar a matéria orgânica afluente, há consumo do oxigênio dissolvido na água do corpo receptor. Evidentemente que tais efeitos variam conforme a capacidade de autodepuração do corpo hídrico e da vazão dos despejos.

A partir das proibições de despejo da vinhaça nos mananciais superficiais, mediante a publicação da Portaria do Ministério do Interior n. 323 de 29/11/1978 (Silva et al., 2007), deu-se início à adoção e ampla difusão da prática da fertirrigação de canaviais.

Atualmente, vários trabalhos têm sido desenvolvidos aproveitando-se a vinhaça na fertirrigação de diversas culturas agrícolas, principalmente da cana-de-açúcar (Canellas et al., 2003; Silva et al., 2006; Silva et al., 2007; Passarin et al., 2007; Brito et al., 2009).

Se, por um lado a vinhaça, devido as suas características, presta-se admiravelmente bem como substituta de alguns fertilizantes minerais e provoca uma série de modificações nas características químicas dos solos, como aumento no pH (Silva et al., 2007; Brito et al., 2009), na matéria orgânica (Canellas et al. 2003; Barros et al., 2010) na disponibilidade de nutrientes como potássio (Silva et al., 2006; Bebé et al., 2009; Brito et al., 2009; Barros et al., 2010; Zolim et al., 2011), na capacidade de troca catiônica (Silva et al., 2006; Silva et al., 2007) e na condutividade elétrica no solo (Silva et al., 2006); por outro lado, de acordo com Silva et al. (2007), a vinhaça também pode promover modificações das propriedades físicas do solo, de duas formas distintas: essas alterações podem melhorar a agregação, ocasionando a elevação da capacidade de infiltração da água no solo e, conseqüentemente, aumentar a probabilidade de lixiviação de íons, de forma a contaminar as águas subterrâneas quando em concentrações elevadas, além de promover a dispersão de partículas do solo, com redução da sua taxa de infiltração de água e elevação do escoamento superficial, com possível contaminação de águas superficiais. De acordo com Brito et al. (2007), pesquisas que possam consolidar a utilização da vinhaça da cana-de-açúcar como prática viável e ambientalmente segura são fundamentais para aperfeiçoamento do sistema sucroalcooleiro sustentável.

Com a realização deste trabalho, objetivou-se avaliar as alterações químicas em três classes de solos, incubados durante 20 dias, após aplicação de diferentes doses de vinhaça, proveniente da fabricação de álcool carburante.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, instalada anexa ao Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

As amostras de vinhaça utilizada nos experimentos foram coletadas em outubro/2007, na Cia Agrícola Pontenovense, localizada no município de Urucânia/MG, coordenadas IS 20° 18' 4,8'' e WO 42° 41' 23,8'', provenientes da unidade de produção de açúcar e álcool, após ter a água residuária passada pelo sistema de resfriamento, apresentando temperatura de 60 °C.

Na Tabela 1 está apresentada a caracterização da água residuária, realizada no Laboratório de Qualidade da Água, do Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, seguindo-se recomendações apresentadas no Standard Methods for the Examination... (APHA et al., 2005).

Tabela 1. Características físicas, químicas e bioquímicas da vinhaça utilizada no experimento.

Características	Valores (mg L ⁻¹)
Ca	1.340,0
K	2.484,0
Na	10,0
Mg	473,0
P	28,0
N _T	733,0
CE	9,0*
pH	3,8**
ST	31.522,0
SV	21.443,0
NH ₄ ⁺	0,038
DBO	16.769,0
DQO	28.572,0

* dS m⁻¹; ** adimensional.

Amostras de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef) e Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd) foram coletadas, na camada de 0-20 cm, nos municípios de Capinópolis (LVd e LVef) e Viçosa (LVAd), tendo sido sua caracterização realizada nos Laboratórios de Solo e Resíduos Sólidos do DEA e Física do Solo do Departamento de Solos da UFV (Tabela 2).

As amostras dos solos foram destorroadas, passadas em peneira de 2 mm, tendo ido utilizadas para determinação do conteúdo de água na capacidade de campo, em mesa de tensão a 0,01 MPa; análise da concentração disponível de potássio (extrator Mehlich 1) e trocável de Ca+Mg (extrator KCl), seguindo-se, em todas as análises, as recomendações da EMBRAPA (1997).

Tabela 2. Características químicas dos solos utilizados no experimento

Variáveis	LVAd	LVd	LVef
K disp (mg dm^{-3})	41,50	79,34	175,30
Ca+Mg trocáveis ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	0,32	3,85	6,19
Capacidade de campo (%)	37,17	19,58	40,04

O experimento consistiu na incubação, por um período de 20 dias, de amostras dos três solos, em recipientes confeccionados com garrafas PET transparente, após aplicação de diferentes doses de vinhaça. As doses foram baseadas na recomendação referência de 120 kg ha^{-1} de K_2O , fornecida para se obter uma produtividade de cana-de-açúcar acima de 120 t ha^{-1} , o que corresponde à aplicação de $99,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de potássio (Korndörfer et al., 1999).

Em vista de ser a concentração de potássio na vinhaça de $2,48 \text{ kg m}^{-3}$ (Tabela 1), a primeira dose definida foi de $40,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, e as outras foram definidas, em ordem crescente, quais sejam, $80,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, $160,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e $320,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, correspondentes a 38, 76, 152 e 302 mL de vinhaça a serem aplicadas nos recipientes PET, considerando-se a área superficial de cada um. Além desses tratamentos, foi estabelecido o tratamento testemunha, constituído por amostras de solos que receberam apenas água da rede de abastecimento da UFV.

A massa de solo, em cada recipiente PET, foi definida como 1.700 g, tendo sido a superfície lateral dos recipientes envolvida em papel alumínio, para se evitar a incidência de luz diretamente sobre as laterais do solo e provocar indesejável crescimento de fungos.

Após a vinhaça ter sido aplicada nas doses calculadas, o solo contido nos recipientes PET foi mantido com conteúdo de água próximo ao correspondente à capacidade de campo (CC), sendo aplicado, com este objetivo, água da rede de abastecimento da UFV. Uma vez obtida tal condição de conteúdo de água, todos os recipientes PET foram pesados, tendo sido a reposição diária de água, para manutenção dos solos em condição de umidade próxima à da CC, efetuada diariamente, após a pesagem dos recipientes PET.

A montagem do experimento obedeceu ao delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, no esquema fatorial 3x5, correspondendo a três classes de solo e cinco doses de vinhaça.

Findo o período de incubação, os solos foram novamente secados ao ar, destorroados e passados em peneira de 2 mm, para a determinação da concentração disponível de potássio (K) e trocável de cálcio mais magnésio; (Ca + Mg).

A análise estatística dos dados foi realizada utilizando-se o software SAS[®], por meio do procedimento GLM. Quando a interação solo x dose se mostrou significativa, em nível de 5 % de probabilidade, optou-se por realizar o desdobramento da análise, fixando-se o fator solo, ou seja, comparando todas as doses com a dose testemunha (dose 0) mediante teste Dunnett, efetuado separadamente para cada solo. Para as variáveis em que apenas o efeito de solo mostrou-se significativo (não tendo sido verificado efeito significativo da dose e da interação), utilizou-se o teste Tukey para comparar as médias de cada solo. No que se refere à variável K, a qual apresenta grande interesse prático, aplicou-se a técnica de análise de regressão dentro de cada tipo de solo, pois este procedimento permite estimar concentrações de potássio disponível no solo para diferentes doses de vinhaça aplicadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 estão apresentadas as médias das concentrações de K e Ca+Mg, CC, seguidas pela significância do teste de Dunnet (*), em nível de 5 % de probabilidade, tomando-se a dose testemunha como referência. De acordo com os resultados obtidos, pode-se verificar que as concentrações de potássio aumentaram nos três solos com a aplicação da vinhaça, à exceção das doses de 40 e 80 m³ ha⁻¹ aplicadas no LVd. Atribui-se este resultado aos elevados teores deste elemento químico na vinhaça (Tabela 1), razão porque ele é tido como referência na definição de doses a serem aplicadas no solo (Korndörfer et al., 1999; Matos, 2006). Aumento na concentração de K disponível no solo com a aplicação da vinhaça também tem sido observado por outros autores (Brito et al., 2005; Silva et al., 2006; Brito et al., 2007; Brito et al., 2009; Barros et al., 2010; Zolim et al., 2011).

Acredita-se que a ocorrência de relativamente alta concentração de K trocável na dose 0 do LVd deva-se a algum problema na análise ou amostragem, tendo em vista que a concentração disponível inicial deste nutriente era de 0,198 cmol_c dm⁻³ ou 77,2 mg dm⁻³ (Tabela 2), valor inferior ao obtido na referida análise.

Tabela 3. Médias das concentrações de K disponível e Ca+Mg trocáveis e da Capacidade de Campo seguidas pela significância do teste de Dunnet (*), em nível de 5 % de probabilidade, tomando-se a dose testemunha como referência.

Atributos	Dose (m ³ ha ⁻¹)	LVAd	LVd	LVef
K disponível (mg dm ⁻³)	0	51,24	107,50	176,2
	40	87,76*	93,40	223,7*
	80	93,82*	140,90	330,4*
	160	146,40*	287,20*	416,9*
	320	372,66*	565,51*	649,5*
Ca+Mg trocáveis (cmol _c dm ⁻³)	0	0,32	3,80	6,30
	40	0,70*	3,60	6,30
	80	0,92*	3,50	6,80*
	160	0,99*	4,00	7,40*
	320	1,39*	4,60*	8,10*
Capacidade de Campo (%)	0	37,72	17,36	41,97
	40	36,53	16,95	40,92
	80	37,22	16,52	39,77*
	160	35,96	16,22	38,54*
	320	34,77*	15,56*	40,26

Para se avaliar a ocupação dos sítios de troca do solo com potássio, calculou-se o Índice de saturação com Potássio, utilizando-se a Equação 1:

$$ISK = \frac{[K^+]}{CTC_{POT}} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

A evolução do acúmulo de potássio no complexo de troca dos solos pode ser evidenciada nas Figuras 1A, 1B e 1C, onde está apresentado o ISK como função da dose aplicada de vinhaça.

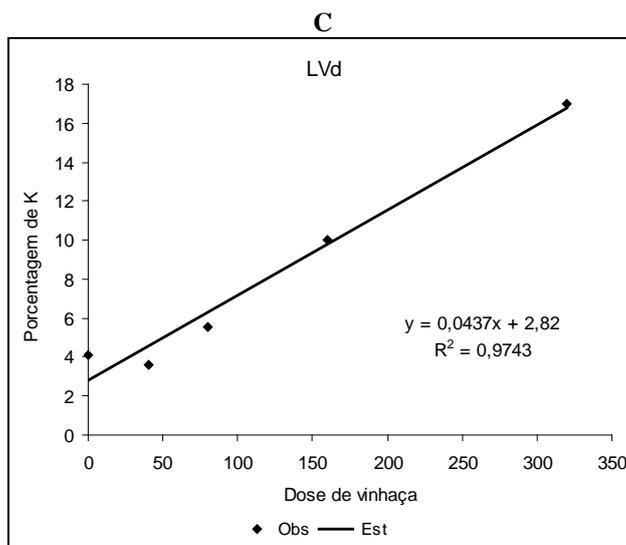
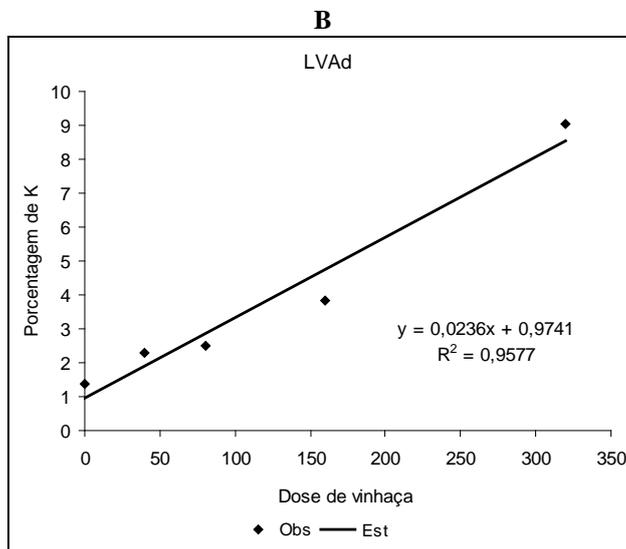
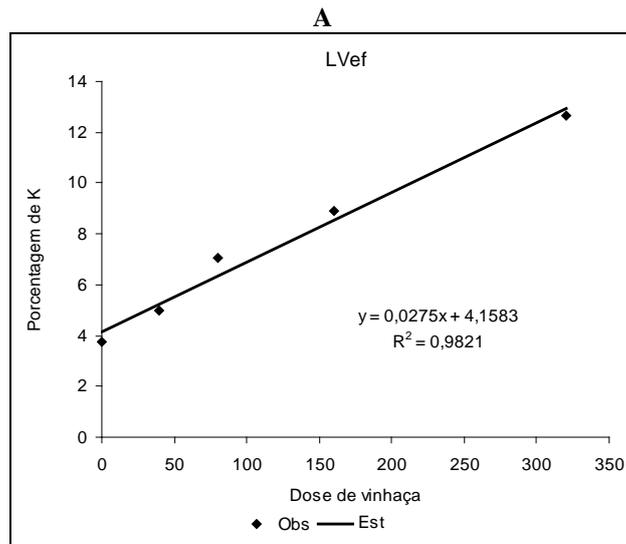


Figura 1. Índice de saturação com potássio em função da dose de vinhaça aplicada em (A) Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef), (B) Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LVAd) e (C) Latossolo Vermelho distrófico (LVd).

Avaliando as referidas figuras, evidencia-se uma situação de alerta no que concerne à aplicação, sem qualquer forma de controle, da vinhaça no solo, uma vez que, já a partir da dose de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, a menor dentre todas, o ISK no LVd foi superior a 5 % da CTC potencial do solo, limite considerado recomendável, no que se refere à fertilidade de solos produtivos e equilibrados do ponto de vista de nutrição de plantas (Korndörfer et al., 1999). No LVAd e LVd tal condição só é observada após a aplicação de 170 e $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente. Deve-se salientar, no entanto, que essas doses de vinhaça correspondem àquelas a serem aplicadas em áreas novas com as quais deve ser aumentada a participação de potássio trocável no complexo de troca dos solos, podendo ser entendida como adubação corretiva.

A adubação potássica com a vinhaça, necessária para haver a reposição das necessidades da cultura, na qual utiliza-se a recomendação de 200 kg ha^{-1} de K_2O , conforme proposto por Kiehl (1985), ou outras estabelecidas pelo Korndörfer et al. (1999), que são baseadas na concentração presente de potássio trocável no solo e nas produtividades esperadas para a cultura de cana-de-açúcar, deverá ser complementar, o possibilitará que seja aplicada uma lâmina maior de vinhaça no primeiro ano. Os anos subseqüentes, as culturas deverão receber apenas a lâmina de reposição de K, que é menor que a do primeiro ano de aplicação. O valor de reposição de potássio (adubação de manutenção), baseando-se na recomendação da aplicação de 200 kg ha^{-1} de K_2O corresponde à aplicação de $66,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça.

Comparando-se os valores de declividade das curvas, verifica-se que a taxa de ocupação dos sítios de troca com K, decorrente da aplicação de vinhaça, foi maior no LVd, o que está diretamente relacionado a sua textura. O LVd é um solo mais arenoso e, como tal, apresenta menor poder tampão para o K.

Um acúmulo de potássio no solo, ocupando mais de 5 % dos seus sítios de troca, propicia condições para o deslocamento do cátion no mesmo, bem como proporciona o deslocamento de cálcio e magnésio, com conseqüente lixiviação deles para camadas mais profundas do solo, podendo causar o empobrecimento dos solos e a salinização das águas subterrâneas.

A vinhaça contém quantidades significativas de Ca (1.340 mg L^{-1}) e Mg (473 mg L^{-1}), o que indica que a sua aplicação no solo poderia aumentar a disponibilidade desses nutrientes no meio. Numa análise geral, os aumentos verificados na concentração de Ca + Mg trocáveis (Tabela 4) podem ser creditados à concentração desses macronutrientes na vinhaça, embora os aumentos verificados tenham sido diferentes de acordo com o tipo de solo. Na análise de variância efetuada, para o LVef, a concentração desses macronutrientes não foi afetada de forma significativa em relação à menor dose aplicada. No solo LVAd, todas as doses aplicadas de vinhaça causaram aumento na concentração de cálcio e magnésio, fato que não ocorreu nos outros solos. Apenas maiores doses de vinhaça foram capazes de aumentar a concentração de Ca + Mg trocáveis no LVd e LVef. O baixo poder tampão e as baixas concentrações naturais de Ca + Mg no LVAd foram as razões para o ocorrido.

Como pode ser observado na Tabela 3, avaliando-se os resultados de conteúdo de água na capacidade de campo, verifica-se que a aplicação de vinhaça nas maiores doses proporcionou redução na capacidade de retenção de água no LVAd e LVd e nas doses de 80 e $160 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ no LVef.

CONCLUSÕES

A concentração de potássio disponível aumentou linearmente com a dose de vinhaça aplicada no LVAd e no LVef.

A concentração de cálcio e magnésio trocáveis aumentou linearmente com a dose de vinhaça aplicada no LVAd; no LVef, a partir da dose de $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e no LVd apenas a maior dose teve efeito significativo.

Com base nos valores obtidos de concentração de potássio trocável com aplicação de vinhaça nos solos estudados, recomenda-se reavaliação da legislação ambiental vigente no Estado de Minas Gerais, relativa ao assunto, tendo em vista que existe grande risco para a qualidade do solo e das águas subterrâneas caso os valores limites estabelecidos na DN COPAM N.º 12/86 continuem a ser utilizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION - WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21. ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2005. 1268p.
2. ALMEIDA, B.A.D.L.; et. al. Resíduos da agroindústria canavieira no estado de Minas Gerais: usos e conservação ambiental. **Informe Agropecuário**, v.28, n. 239, p. 96-100, 2007.
3. ALMEIDA NETO, O.B.; et. al. Influência da qualidade da água de irrigação na dispersão da argila de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p. 1571- 1581, 2009.
4. BARROS, R.P.; et al. Alterações em atributos químicos do solo cultivado com cana-de-açúcar e adição de Vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, n.3, p. 341-346, 2010.
5. BEBÉ, F.V.; et. al. Avaliação de solos sob diferentes períodos de aplicação com vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.6, p.781-786, 2009.
6. BRITO, F.L.; et. al. Teores de potássio e sódio no lixiviado e em solos após a aplicação de vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.52-56, 2005.
7. BRITO F. L.; et. al. Concentração de cátions presentes no lixiviado de solos tratados com vinhaça. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n.3, p.773-781, 2007.
8. BRITO, F. L.; et. al. Efeito da aplicação de vinhaça nas características químicas de solos da zona da mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.04, n.04, p.456-462, 2009.
9. CANELLAS, L. P.; et. al. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.5, p.935-44, 2003.
10. DOLL, M. M. R.; FORESTI, E. Efeito do bicarbonato de sódio no tratamento de vinhaça em AnSBBR operado a 55 e 35°C. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.15, n.3, p.275-282, 2010.
11. EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
12. GARCIA, G.O.; et. al. Alterações químicas em três solos decorrentes da aplicação de águas residuárias da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro conilon. **Engenharia na Agricultura**, v.16, n.04, p.416-427, 2008.
13. KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica “Ceres”, 1985. 492p.
14. KORNDÖRFER G. H.; et. al. Sugestões de adubação para as grandes culturas anuais ou perenes. In: RIBEIRO A.C.; GUIMARÃES, P. T.; ALVAREZ, V. V. H (Eds.) **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, 5ª aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Viçosa: UFV, p. 285-288, 1999.
15. MATOS A. T. **Disposição de águas residuárias no solo** – Série Caderno Didático 38. Viçosa: UFV, 2006. 144 p.
16. MATOS A. T. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos** – Série Caderno Didático 37. Viçosa: UFV, 2007. 120 p.
17. PASCOAL FILHO, W. Produção de cachaça de alambique. Informe Agropecuário, v.28, n.239, p.82-94, 2007.
18. PASSARIN, A. L; et. al. Caracterização de agregados em um Latossolo Vermelho Distroférrico Típico submetidos a diferentes doses de vinhaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31. p. 1255-1260, 2007.
19. RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (Silte + Argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p. 297-300, 2005.
20. SILVA, A. J. N.; et. al. Alterações físicas e químicas de um argissolo amarelo sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n.01, p. 76-83, 2006.
21. SILVA, M. A. S.; et. al. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.108-114, 2007.
22. ZOLIN, C. A.; et. al. Estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo. I. Características do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.1, p.22–28, 2011.