

WELKA PRESTON LEITE BATISTA DA COSTA

**ALTERAÇÕES NA FERTILIDADE DO SOLO E TEORES DE METAIS
PESADOS EM SOLOS CULTIVADOS COM VIDEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Clístenes Williams Araújo do Nascimento

Co-orientadores: Dr. Davi José Silva

Dr^a. Alessandra Monteiro Salviano Mendes

**RECIFE - PE
FEVEREIRO - 2009**

FICHA CATALOGRÁFICA

C837a Costa, Welka Preston Leite Batista da
Alterações na fertilidade do solo e teores de metais pesados em solos cultivados com videira / Welka Preston Leite Batista da Costa. -- 2009.
80 f.

Orientador : Clístenes Williams Araújo do Nascimento
Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Agronomia.

Inclui bibliografia.

CDD 631.42

1. Manejo do solo
 2. Eutroficação
 3. Fertilização
 4. Concentrações de referência
 5. Elementos traço
 6. Fertilizantes
- I. Nascimento, Clístenes Williams Araújo do
 - II. Título

“O SENHOR é o meu pastor; nada me faltará. Deitar-me faz em pastos verdejantes; guia-me mansamente a águas tranqüilas. Refrigera a minha alma; guia-me nas veredas da justiça por amor do seu nome. Ainda que eu ande pelo vale da sombra da morte, não temerei mal algum, porque tu estás comigo; a tua vara e o teu cajado me consolam. Preparas uma mesa perante mim na presença dos meus inimigos; unges com óleo a minha cabeça, o meu cálice transborda. Certamente que a bondade e a misericórdia me seguirão todos os dias da minha vida, e habitarei na casa do Senhor por longos dias”.

OFEREÇO

A Deus pela vida; aos meus pais: Rita da Silva Leite e Jaci Batista da Costa; irmãos, especialmente a Wayde (*in memoriam*), a todos os meus sobrinhos e a Seu Samuel e Dona Maria José.

DEDICO

Com muito respeito e admiração ao meu Orientador Clístenes, pela ajuda nunca recusada, pelos ensinamentos, confiança e amizade que sempre me transmitiu e ao meu colega de batalha, amigo de todas as horas o amor da minha vida, meu esposo Hailson Alves por tudo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre ter iluminado meu caminho, pois como diz em Eclesiastes 3,1: “Todas as coisas têm seu tempo, e todas elas passam debaixo do céu segundo o tempo que cada um foi prescrito...”. Obrigada por tudo meu Pai;

A minha mãe Rita da Silva Leite, pelo amor sincero, carinho, atenção, ajuda, força e pelos tão sábios ensinamentos repassados, para eu poder enfrentar os obstáculos da vida de cabeça erguida e ao meu pai Jaci Batista da Costa, obrigada pela vida, educação e por tudo;

Ao meu esposo, pelo amor incondicional, companheirismo, amizade, ajuda, respeito, dedicação, confiança, por estar ao meu lado sempre, muito obrigada por tudo meu eterno amor.

Ao meu sogro Samuel Alves Ferreira, sogra Maria José Alves Ferreira e cunhada Hailma Alves Ferreira, pois sem eles não teria nem começado a caminhada, obrigada pelo bem-fazer sempre;

Ao meu irmão Wayde (*in memoriam*), pois você foi e sempre será a minha inspiração em tudo que faço meu exemplo de vida, de força de vontade, inteligência, sabedoria, de ser humano honesto, íntegro, bonito por dentro e por fora, irmão que jamais se recusou ajudar aos seus em tudo o que pode, seja financeiramente ou simplesmente com uma palavra de apoio. Essa vitória meu Pai-irmão, agradeço especialmente a você, que tenho certeza, que me acompanhou durante todos esses dois anos, seja de onde estiveres;

Aos demais irmãos Wayka, Wylker, Wylka, Welber, Weryka e Wênyka todos Preston Leite Batista da Costa e sobrinhos Paula, Pablo, Wheryck e Carolina, pelo amor fraterno, carinho, força, atenção, alegria e pela festa de emoção sempre que a irmã querida a casa voltava;

Ao Professor Clístenes Williams Araújo do Nascimento pela paciência, ajuda, dedicação, sempre disponível para nos atender a qualquer hora, sem nunca recusar atenção, muito obrigada por tudo;

Ao CNPq pela concessão da bolsa para o cumprimento dessa etapa;

A todos os professores, do Departamento de Solos, pelo conhecimento, respeito e atenção durante todo o mestrado;

A todos os funcionários e especialmente a uma funcionária, que além de atenciosa, carinhosa e dedicada é o coração do Departamento de Solos, pois sem ela tudo pára “Socorro” minha amiga, muito abrigada;

As Empresas produtoras de Uva do Submédio São Francisco Colinas do vale; Fazenda Andorinha; Frutex; Vale das Uvas; Fruit Fort; e Embrapa pelas Áreas em Bebedouro, que permitiram a coleta dos solos para realização deste trabalho;

Ao Pesquisador Davi José Silva, por toda ajuda e importantes informações concedidas, para conclusão desta dissertação, obrigada;

A Zeca e a equipe da Embrapa Semi-Árido Francisco Costa de Aquino - “Cozão”, Wildson de Moraes Silva – “Piaba”, Jéferson da Silva Zumba e Bárbara Priscila Moreira de Melo, pela preciosa ajuda no momento da coleta dos solos;

A todos do laboratório de solos da UFERSA e do laboratório de solos de Carpina pela ajuda e incentivo, obrigada;

A Carolina Malala, que desde a graduação foi mais que uma amiga foi uma irmã para mim, divertida, companheira, compartilhando os momentos bons e ruins, sempre disposta a ajudar, honrando nossa amizade verdadeira, obrigada;

A Edivan pela valiosa ajuda, Laerte, Agenor, Michelângelo e Kamila grandes amigos desde a ESAM até os dias de hoje, obrigada pela amizade;

A Thais Emanuelle, Maria da Conceição e Márcio Félix, meus mais novos e eternos amigos, pessoas especiais, que jamais sairão da minha lembrança como também do meu coração, muito obrigada;

Aos meus colegas de turma: Marise, Patrick, Guilherme, Rosemberg, Karla, Luciana, Rômulo, Teresinha, André Sueldo e demais integrantes: Moacir, Leila Cruz, Víctor Psicoia pelas alegrias ao longo do inesquecível mestrado;

A Karina pela ajuda, paciência e dedicação a mim fornecidas durante a fase final de execução deste trabalho, apoio fundamental, obrigada amiga;

Aos meus amigos do laboratório de Fertilidade: Sérgio, Bruno, Airon, Jean, Wellington, Vinícios 1 e 2, Zil, João Paulo, Renato, Carol Biondi, Josângela, Eriberto, Tâmara e demais do grupo de pesquisa, pessoas fundamentais para execução e conclusão do meu trabalho.

A todos que sempre me ajudaram de forma direta ou indireta para a conclusão deste curso, meu muito obrigada!

DADOS BIOGRÁFICOS DO AUTOR

WELKA PRESTON LEITE BATISTA DA COSTA, filha de Jaci Batista da Costa e Rita da Silva Leite, nasceu no dia 24 de novembro de 1980 na cidade de Patu, Rio Grande do Norte. Conclui o 1º grau no ano de 1993 na Escola Estadual de 1º grau Professor Pedro Gurgel e o 2º grau, pedagógico, no ano de 1996 na Escola Estadual de 2º grau Estudante Ronald Néo Júnior, ambos na cidade de Almino Afonso – RN. Ingressou na Universidade Federal Rural do Semi-Árido em agosto de 1999, na cidade de Mossoró-RN. Durante esse período foi bolsista de iniciação científica, na área de Climatologia Agrícola de agosto de 2003 a dezembro de 2006, concluindo o curso de Engenharia Agrônoma em dezembro de 2006. Iniciou em março de 2007 o curso de mestrado em Agronomia – Ciência do Solo, pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE.

ÍNDICE

	Página
AGRADECIMENTOS	iv
DADOS BIOGRÁFICOS DO AUTOR	vi
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS.....	13
CAPÍTULO I – ALTERAÇÕES NA FERTILIDADE DOS SOLOS SOB CULTIVOS DE VIDEIRA	
RESUMO.....	20
ABSTRACT.....	21
1. INTRODUÇÃO.....	22
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4. CONCLUSÕES.....	39
REFERÊNCIAS	40
CAPÍTULO II – TEORES TOTAIS DE METAIS PESADOS EM SOLOS SOB CULTIVO DE VIDEIRA	
RESUMO.....	46
ABSTRACT.....	47
1. INTRODUÇÃO.....	48
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	50
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
4. CONCLUSÕES.....	66
REFERÊNCIAS.....	67

INTRODUÇÃO GERAL

A fruticultura é um dos segmentos mais importantes da agricultura brasileira, respondendo por 25% do valor da produção agrícola nacional (LACERDA et al., 2004). Neste cenário, a região do Submédio São Francisco tem se destacado nacionalmente na produção de diversas frutas. A fruticultura no Submédio São Francisco tem experimentado, nos últimos anos, um vertiginoso crescimento. Favorecida pela potencialidade dos recursos naturais e pelos investimentos públicos e privados nos projetos de irrigação. Esta região está conhecendo uma grande expansão no plantio e na produção de uvas finas de mesa. A área cultivada com videira no submédio São Francisco é de 11.208 ha, segundo Anuário, (2008).

De acordo com informações da Codevasf, o pólo Petrolina/Juazeiro, região localizada no Submédio São Francisco e onde a fruticultura movimenta R\$1 bilhão, é hoje o maior centro produtor de uva no país, contribuindo com 90% das exportações brasileiras. No ano passado, foram produzidas no Vale, cerca de 160 mil toneladas de uva. Deste total, um terço é destinado à exportação, em especial para a Europa, com destaque para as uvas sem sementes (SEAGRI, 2008).

Atualmente, a principal preocupação no sistema produtivo de frutas é a capacidade de gerar produtos de qualidade e saudáveis, conforme os requisitos de sustentabilidade ambiental, segurança alimentar e viabilidade econômica, mediante a utilização de tecnologias não-agressivas ao meio ambiente e à saúde humana (CINTRA et al., 2009). O mercado internacional, diante das novas tendências do consumidor, cada vez mais exigente por alimentos seguros e livres de qualquer tipo de agravante à saúde humana, adota programas específicos, que assegure o controle e a rastreabilidade de toda a cadeia produtiva de frutas frescas.

O reflexo das novas exigências internacionais é a adoção de selos de certificação, que comprovam a qualidade e sanidade do bem importado. O mercado europeu tem se tornado mais exigente e destaca-se como o principal comprador das frutas frescas brasileiras, principalmente as produzidas no Submédio São Francisco, como a manga e uva de mesa (CINTRA et al. 2009)

Existem inúmeros selos de certificação exigidos para a entrada de produtos, principalmente “in natura” no mercado internacional, destacando-se, entre os

maiores importadores de frutas frescas brasileiras, o EurepGap (Euro Retailer Produce – Good Agricultural Practices), pela União Européia, e, o APHIS (Serviço de Inspeção Sanitária de Animais e Vegetais), pelos Estados Unidos. Além do PIF (Produção Integrada de Frutas), selo brasileiro, que normatiza a certificação dos sistemas de produção frutícola, visando o diferencial da fruticultura brasileira e ampliação no mercado externo. A produção integrada vem sendo regulamentada desde 1999, com o suporte de órgãos públicos e associações específicas, de cada região do país, que assistem os produtores. No Submédio São Francisco importante pólo produtor de frutas no Brasil e principal exportador de manga e uva, existe a Valexport (Associação dos produtores e exportadores do Submédio São Francisco), que juntamente com a Embrapa incentivam e monitoram a implantação do Programa Integrado (CEPEA, 2008).

Vale ressaltar que a Produção Integrada de Frutas (PIF) é um programa regulamentado pelo Brasil e difere, em alguns pontos, do Programa de Produção Integrada difundido entre os principais produtores e importadores mundiais de frutas. Em cada país, há diferenças em suas normas quanto ao uso de produtos químicos, carências, manejo em geral, entre outros, por isso, o PIF não garante totalmente a aceitação do produto brasileiro no mercado externo. A fruta brasileira que possui o selo de certificação do PIF necessita da aprovação dos órgãos internacionais competentes, que regulamentem e aceitem as condições do processo produtivo brasileiro (CEPEA, 2008).

A adoção de programas de certificação de qualidade de frutos não tem como objetivo principal o aumento da produtividade da área cultivada, mas sim, manter os níveis obtidos pela produção convencional, sem a utilização descontrolada de produtos tóxicos ao homem e ao ambiente. Dessa forma, a produtividade acaba por aumentar em virtude do maior rigor no acompanhamento das atividades de manejo e das tecnologias aplicadas. A principal vantagem da adoção dos programas de certificação é a possibilidade de aumentar a demanda dos produtos produzidos, em virtude de o sistema permitir uma maior qualidade e credibilidade, assim como permitir a rastreabilidade dos mesmos.

Para aumentar a produtividade dessas áreas, muitas são as técnicas de manejo a serem adotados, normas seguidas e monitoramentos realizados, tendo em

vista que os solos do Submédio São Francisco apresentam textura arenosa, com baixa capacidade de retenção de nutrientes e, por estarem localizados numa região semi-árida, muito pobre em matéria orgânica e fósforo. A disponibilidade de fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo, como o esterco de curral é muito pequena, haja vista a ausência de pecuária expressiva na região (FARIA et al, 2004). Fertilizantes minerais são bastante utilizados nos plantios de uva dessa região, devido à grande exigência nutricional dessa cultura.

Na região do Submédio São Francisco, o início dos cultivos se dá através da retirada da vegetação natural para introdução das culturas. Com esta prática, as propriedades químicas dos solos são bastante modificadas. A fertilidade natural da maioria dos solos diminui de forma acentuada quando é retirada sua cobertura vegetal e, portanto, torna-se necessário desenvolver sistemas agrícolas adequados que permitam melhorar sua recuperação, assim como desenvolver e utilizar tecnologias direcionadas aos fatores de produção (PEREIRA et al., 2000). A remoção da vegetação nativa, acompanhada da aplicação de fertilizantes, corretivos e operações agrícolas, ocasiona alterações nas propriedades do solo e interfere no rendimento das culturas, assim como na conservação do solo e do ambiente (PEREIRA et al., 2000; MAIA; RIBEIRO, 2004). Essas modificações podem ser de caráter positivo ou negativo, isto é, tanto pode provocar uma melhoria nas propriedades do solo, como também acelerar sua degradação, dependendo, principalmente, da natureza do solo, da espécie vegetal, do sistema de manejo usado e do tempo de exploração agrícola (PEREIRA et al., 2000).

A utilização do solo de maneira intensiva, sem a reposição adequada de nutrientes ao longo do tempo, pode promover de forma progressiva a perda natural da fertilidade e conseqüente degradação deste. A degradação inclui a perda gradativa da matéria orgânica, acidificação, declínio na fertilidade (particularmente na reserva de K) e um desarranjo na estrutura, especialmente nas camadas superficiais (GRAHAM et al., 2002).

Insumos tecnológicos que preconizam o aumento do potencial produtivo das lavouras englobam diversas práticas agrícolas como irrigação, fertirrigação, mecanização, correção da acidez do solo, adubação e fertilização, e o controle fitossanitário de pragas e doenças, como também variados sistemas de manejo.

Estas práticas e manejos podem tanto influenciar positivamente como negativamente a produção agrícola, o que depende largamente da racionalidade como os mesmos são aplicados, de forma que a sustentabilidade dos agroecossistemas está diretamente relacionada com a adoção e a forma de utilização desses insumos tecnológicos.

Uma das práticas mais utilizadas em sistemas de cultivo convencional é a calagem, responsável por diversas alterações químicas no solo, aumento do pH, fornecimento de cálcio e magnésio, incrementos na capacidade de troca catiônica e conseqüentemente na saturação por bases, além de alterar a disponibilidade de micronutrientes e reduzir os teores de Al e Mn trocáveis no solo (PRADO, 2003; CAÍRES, 2004).

A exploração agrícola provoca alterações significativas nas características do solo que, dependendo do manejo, podem contribuir para aumentar ou diminuir sua capacidade produtiva. As características químicas do solo que mais se relacionam à produtividade das culturas são as disponibilidades de nutrientes, capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V) e teor de matéria orgânica (MO) (FARIA et al., 2007).

O uso da irrigação permite diminuir a irregularidade espacial e temporal do suprimento de água, de modo a possibilitar a expansão das áreas de cultivos. Nas regiões semi-áridas, além do fornecimento de água, a melhoria da fertilidade do solo é essencial para aumentar a produção de biomassa, a eficiência do uso da água e também melhorar a qualidade do solo (BERNARDI et al., 2007).

No entanto, solos submetidos a cultivos irrigados, normalmente sofrem alterações de ordem química, física e biológica num tempo relativamente curto e em uma intensidade que varia em função da qualidade e quantidade da água aplicada, do manejo, uso de fertilizantes e características químicas e físicas dos solos. Dependendo dos cultivos estes podem manter, melhorar ou piorar as características iniciais do solo, que refletem sua capacidade produtiva (SILVA; ARAÚJO, 2005).

Práticas como a intensidade de revolvimento do solo e de incorporação dos resíduos culturais promove modificações nos teores de matéria orgânica (MO), na capacidade de troca de cátions (CTC), no pH, na dinâmica dos íons e na agregação do solo. Estas modificações tornam-se mais evidentes conforme aumenta o tempo

de uso das áreas (FALLEIRO et al., 2003). Pouca pesquisa tem sido desenvolvida com experimentos em longo prazo, sobre as influências nas propriedades do solo. Porém, o cultivo intensivo em longo prazo pode causar consideráveis mudanças nessas propriedades, principalmente por adições de agroquímicos (fertilizantes e pesticidas).

Embora seja comumente documentado que os sistemas de cultivo degradam a fertilidade dos solos das regiões tropicais, alguns autores (LIMA, 1995; SILVA; RIBEIRO, 1998) concluíram que as propriedades químicas de solos sob cultivo contínuo podem ser melhoradas e mantidas, por meio da aplicação constante de fertilizantes e corretivos.

Uma das práticas agrícolas indispensáveis para o cultivo é a fertilização, embora sendo efetuada em grandes áreas, que são consideradas homogêneas, observando apenas a necessidade média para a aplicação de insumos (fertilizantes, defensivos e água), fazendo com que a mesma formulação e/ou quantidade dos fertilizantes seja utilizada para toda a área, não atentando, dessa forma, para as necessidades específicas de cada parte do campo (CAVALCANTE et al., 2007). Assim, a convencional aplicação de insumos é baseada em teores médios da fertilidade do solo, podendo subestimar ou superestimar esses teores, acarretando excessos ou déficit nutricionais em determinadas áreas (SOUZA et al., 2004).

A aplicação de fertilizantes e adubos sem a recomendação adequada, sem a compreensão completa de como estes vão afetar, em longo prazo, a fertilidade dos solos de sistema convencional em grandes áreas é preocupante, visto que muitos destes nutrientes podem ser carregados até corpos d'água e causar poluições severas. Como exemplo, o uso excessivo de fertilizantes fosfatados e nitrogenados, que causam a eutroficação de águas (DARILEK et al., 2009).

A utilização de fertilizantes minerais e esterco de curral por longos períodos de tempo, influenciam a matéria orgânica, bem como outros parâmetros de qualidade do solo, mas a magnitude dessas alterações depende das condições climáticas e do solo (YANG et al., 2007). Os sistemas agrícolas convencionais, caracterizados pelo intenso revolvimento do solo e pelo uso de elevadas quantidades de adubos minerais e pesticidas, contribuem mais intensamente para as perdas de C orgânico do solo (MIELNICZUK et al., 2003). Dessa forma,

desenvolve-se o processo de degradação química, física e biológica, tendo como produto a redução de produtividade das culturas exploradas, cada vez mais acentuada com o manejo inadequado e o uso contínuo do solo.

Práticas de manejo do solo inadequadas são responsáveis pela diminuição da matéria orgânica do solo, ao passo que sistemas que favorecem o acúmulo de resíduos orgânicos promovem o seu incremento (MARTINAZZO, 2006). A ciclagem de nutrientes, a geração de cargas e a melhoria das características físicas do solo podem ser consideradas os principais benefícios da matéria orgânica do solo. Estes benefícios dependem do teor e da qualidade da matéria orgânica do solo que, por sua vez, estão diretamente associados ao manejo que é dado ao solo.

Do ponto de vista quantitativo, ocorre uma diminuição nos valores anuais de carbono orgânico adicionados ao solo devido ao cultivo, o que, aliado às altas taxas de decomposição da matéria orgânica – características das regiões tropicais - causam um declínio do seu teor, antes em equilíbrio com a vegetação nativa. Um fator que contribui para isso é a textura do solo, sendo que solos arenosos apresentam índices menores de perda de carbono orgânico (MANN, 1986) ou até mesmo algum ganho em relação aos valores iniciais, após algum tempo de cultivo (MORAES, 1991).

É importante salientar que o uso exclusivo de adubos minerais, sem promover calagens adequadas e adubação orgânica, principalmente em culturas perenes, pode levar os solos a perderem rapidamente a sua fertilidade, em decorrência da acidificação, mobilização de elementos tóxicos (Al, Fe e Mn), imobilização de nutrientes e mineralização da matéria orgânica do solo (THEODORO, 2001).

Segundo Theodoro et al. (2003), o manejo adequado nas áreas cultivadas pode melhorar a fertilidade dos solos, como por exemplo, a aplicação de matéria orgânica, em virtude das inúmeras vantagens que a mesma traz aos solos, como: aumento do pH e dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , promovendo dessa forma elevação na SB e, conseqüentemente, na CTC efetiva.

A função física da matéria orgânica do solo está relacionada à melhoria da estrutura do solo e, conseqüentemente, da aeração, drenagem e retenção de umidade. Biologicamente, sua função é fornecer carbono como fonte de energia para os microrganismos, promovendo a ciclagem de nutrientes. Sua função química

é manifestada por sua capacidade de interagir com metais, óxidos e hidróxidos metálicos, atuando como trocador de íons (CTC) e na estocagem de nitrogênio, fósforo e enxofre. Outra característica a ser destacada é a liberação de ácidos orgânicos durante sua decomposição, que pode complexar o Al monomérico ou se ligar às cargas elétricas dos óxidos de ferro e alumínio, diminuindo assim, os sítios de adsorção de P (HAYNES; MOKOLOBATE, 2001). A matéria orgânica também é responsável pela mobilização e retenção de metais no solo, especialmente devido à afinidade desses elementos por compostos orgânicos, formando complexos solúveis e insolúveis.

Os metais pesados ocorrem naturalmente na crosta terrestre, constituindo menos de 1 % das rochas. Quanto à origem, podem ser litogênicos, quando provenientes de fontes geológicas, como resíduos de rocha liberados pelo intemperismo, ou antropogênicos, quando adicionados ao solo pela atividade humana, via mineração e aplicação de defensivos agrícolas e fertilizantes (CAMARGO et al., 2001; MENDES et al., 2006). Por metal pesado entende-se o elemento cuja densidade atômica é maior que 6 g cm^{-3} (ALLOWAY, 1990). Embora o termo metal pesado tenha conotação de toxicidade, alguns destes elementos atendem aos critérios de essencialidade às plantas, aos animais e ao homem e são ditos biogênicos, isto é, sua presença é essencial para permitir o funcionamento normal de algumas rotas metabólicas (AGUIAR et al., 2002). Alguns desses metais, como Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn são essenciais para o crescimento das plantas, enquanto outros não o são, como Pb, Cd, Hg e Cr, ou seja, não tem nenhuma atividade biológica e, mesmo em baixas concentrações, podem provocar efeito deletério nas plantas (LASAT, 2002).

Solos com origem em rochas básicas, naturalmente mais ricas em metais, apresentam maiores teores desses elementos, quando comparados com aqueles formados sobre granitos, gnaisses, arenitos e siltitos (OLIVEIRA, 1996). Além da natureza do material de origem, outros fatores como o teor e a composição da fração argila, conteúdo de matéria orgânica e condições físico químicas dos solos podem influenciar sua concentração de metais pesados (BARONA; ROMERO, 1996; OLIVEIRA, 1996).

O teor natural dos metais pesados no solo varia muito com o tempo de

intemperismo e a composição química do material de origem. Embora a presença desses metais seja comum em solos em condições naturais, as atividades humanas acabam de alguma forma, adicionando ao solo materiais que contenham esses elementos em sua composição, podendo vir a comprometer a qualidade do ecossistema pela sua introdução na cadeia alimentar (CAMARGO et al., 2001).

Os metais pesados podem ocorrer no solo nas formas iônica ou complexada na solução do solo, como íons trocáveis no material orgânico ou inorgânico de troca ativa, como íons mais firmemente presos aos complexos de troca, como íons quelatos em complexos orgânicos ou organominerais, incorporados em sesquióxidos precipitados ou sais insolúveis, incorporados nos microrganismos e nos seus resíduos biológicos, ou presos nas estruturas cristalinas dos minerais primários ou secundários. Sua distribuição é influenciada pelas seguintes propriedades do solo: pH, potencial redox, textura, composição mineral, características do perfil, CTC, quantidade e tipo de componentes orgânicos do solo e na solução, presença de outros metais pesados, temperatura do solo, conteúdo de água e outros fatores que afetam a atividade microbiana. Estes fatores que afetam a distribuição dos metais pesados no sistema solo controlam sua solubilidade, mobilidade no meio e disponibilidade às plantas (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001).

Entre os metais pesados, alguns são micronutrientes para as culturas, a exemplo de Cu, Zn, Fe, Mn e Ni. A deficiência de um micronutriente pode desorganizar os processos metabólicos e causar a deficiência de um macronutriente (EMBRAPA, 1996). A carência de micronutrientes tem sido relacionada a diversos fatores, como a baixa fertilidade de alguns solos, a maior remoção de nutrientes pelas colheitas, aplicação de fertilizantes fosfatados, baixos teores de matéria orgânica e aumento do pH do solo em consequência da calagem (CONSOLINI; COUTINHO, 2004).

Tanto a falta como o excesso desses micronutrientes é prejudicial às plantas. Segundo Tan (2000), a acumulação de elementos benéficos às plantas e animais, em níveis abaixo da toxidez, caracteriza a contaminação. Quando acumulados no nível ou acima do nível de toxidez, caracterizam a poluição.

O conhecimento dos atributos do solo torna-se fundamental para a predição do teor máximo de metais pesados que este possa reter (BORGES; COUTINHO,

2004), podendo-se estimar através deste, o limite de acúmulo do metal decorrente das atividades antropogênicas, evitando que as concentrações se tornem elevadas a ponto de causar risco potencial à saúde humana (OLIVEIRA, 2002).

Os problemas causados pelo excesso de metais pesados dependem da quantidade e das formas químicas em que ocorrem nos solos. Portanto, o teor total de metais pesados no solo não é um bom parâmetro para prever a biodisponibilidade (KUMPIENE et al., 2007). Essa determinação tem por objetivo a obtenção de dados sobre o acúmulo destes elementos ao longo do tempo em função principalmente de práticas agrícolas (RAMOS, 2006).

Práticas de adubação e utilização de produtos químicos para combate de pragas e doenças algumas vezes baseadas apenas em orientações empíricas sem o conhecimento das reais condições do solo e das plantas, podem promover desequilíbrios nutricionais, bem como estresse às plantas, o que acarreta queda na produção e qualidade dos frutos, bem como contaminação dos solos (TECCHIO et al., 2006).

Os fertilizantes são considerados um dos maiores contaminantes quando se trata da adição de metais pesados aos solos, pois os mesmos não são suficientemente purificados durante o processo de manufatura, contendo diversas impurezas, entre elas os metais pesados que, freqüentemente, fazem parte também dos componentes ativos de pesticidas. Desse modo, a adição de metais nos solos agrícolas é causada pelo uso contínuo e excessivo de fertilizantes, pesticidas metálicos e resíduos orgânicos (NÚÑEZ et al, 2006).

A concentração de metais pesados em fertilizantes fosfatados é dependente do tipo de rocha fosfatada usada como material de origem. As principais rochas fosfatadas brasileiras são pobres em metais pesados (CAMARGO et al., 2000). Por esta razão, fertilizantes fosfatados solúveis produzidos de tais fontes apresentam concentrações de Cd variando de 5,1 a 9,4 mg kg⁻¹ (PROCHNOW et al., 2001). Baixas concentrações de Pb, que variam de 5,7 a 9,9 mg kg⁻¹ foram também achados em superfosfatos por (MCBRIDE; SPIERS, 2001).

O metal mais citado na literatura como principal contaminante dos solos de vinhedos é o Cu. A calda-bordalesa, fungicida bastante usado em tratamentos fitossanitários de plantas de videiras, contém Cu em sua formulação, podendo

contribuir significativamente para contaminação, tanto do solo, como da uva e dos seus derivados. Contaminação por este metal tem sido relatada para produtos derivados da uva no Brasil (MIRLEAN et al., 2005).

Diversos agroquímicos a base de Cu, além da calda bordalesa, são utilizados no manejo das mais diversas patologias de videiras no mundo e também no Brasil. Esses agroquímicos, por não possuírem somente Cu em suas formulações, precisam ser estudados com relação ao efeito da sua aplicação aos solos de vinhedo, não somente no tocante a contaminação dos solos por Cu, mas pelos vários outros metais presentes, como Zn, Pb, Cd entre outros. Assim, maiores investigações devem ser empreendidas com essa intenção (MERRY et al., 1983; NARI-MANDZE; BRUCKNER, 1999).

A maior contribuição para contaminação de solos de vinhedos no mundo é, então, a maciça aplicação de defensivos agrícolas a base de Cu na busca do controle das doenças da videira. Dessa forma, a contaminação por este metal é a mais estudada.

No Rio Grande do Sul, onde o inverno é bastante frio o cultivo de uva é favorecido. Porém, por causa do clima subtropical úmido, esta região poderia ser considerada como a área de viticultura mais úmida do mundo, com uma precipitação anual acima de 2000 mm. Quanto mais alta umidade e precipitação, maior é a frequência de aplicação de fungicida a base de cobre, o qual contribui para contaminação ambiental. O crescimento das produções e exportações no Brasil estimulou o crescimento também de áreas vitícolas, por conseguinte, aumentou o risco de poluição ambiental das mesmas (MIRLEAN et al., 2007).

Na região de Bento Gonçalves-RS, onde a contaminação por cobre é bastante elevada, foram encontrados valores de concentração de cobre variando entre 211 e 1504 mg kg⁻¹, em áreas de vinhedos onde os solos são ricos em ferro. Nas áreas onde os solos eram arenosos, quando comparados com os Argissolos e os solos ricos em ferro, a concentração de cobre foi mais baixa, variando de 36 a 689 mg kg⁻¹. Concentrações extremamente altas excedendo 3000 mg kg⁻¹ de Cu, tem sido documentadas por Mirlean et al. (2007), em solos Argilosos de vinhedos do Brasil. Estes valores são os mais elevados teores publicados até então e indicam que o mais intensivo uso de pesticidas, nas áreas de clima subtropical úmido, resulta

em maiores e significativas concentrações de Cu (MIRLEAN et al., 2007).

Nos solos de vinhedos da França, foi encontrado uma concentração de 1500 mg kg⁻¹ de Cu, onde fungicidas a base de cobre tinham sido aplicados pela primeira vez há cerca de 130 anos (FLORES-VELES et al., 1996). Altas concentrações de cobre também foram encontradas em vários outros solos de vinhedos no mundo, devido ao uso de fungicidas a base de cobre: Índia [29–131 mg kg⁻¹] (PRASAD et al., 1984); Austrália [11–320 mg kg⁻¹] (MERRY et al., 1983). Deluisa et al. (1996) observaram acúmulo de cobre (300 mg kg⁻¹) na superfície do solo cultivado com videira na Itália.

Kómárek et al. (2008) verificaram que as mais altas concentrações de Cu foram achadas nas camadas superficiais do solo (0-20 cm) e diminuíram com a profundidade, provando que o cobre adicionado ao solo tem uma mobilidade muito limitada dentro do perfil, sendo efetivamente imobilizado pelo complexo sortivo do solo. Além disto, como observado por Weihtwick et al. (2006), as concentrações mais altas de Cu foram observadas nas amostras de solos de dentro da linha de cultivo, comparado à amostras das entrelinhas. Os autores observaram ainda que a concentração de outros metais, como Cd e Pb, não seguiram a mesma tendência que a do Cu. A concentração destes metais não diminuiu com a profundidade, nem tampouco com a distância das linhas de cultivo.

O Submédio São Francisco, localizado na Região Nordeste do Brasil, possui clima tipicamente semi-árido, caracterizado por baixa pluviosidade e altas temperaturas, o que em grande parte, não proporciona microclimas favoráveis ao desenvolvimento e estabelecimento de doenças nos vinhedos. Existem épocas do ano em que as condições climáticas, favorecem o aparecimento de doenças, como míldio da videira que requerem a aplicação de defensivos à base de Cu. Dessa forma, torna-se desnecessárias intensas e freqüentes aplicações de fungicidas cúpricos, o que reduz o risco de contaminação dos solos.

No entanto, tendo em vista a importância da cultura da uva para esta região, o monitoramento das áreas produtoras é extremamente necessário, em virtude do aumento dos metais ocorrer não somente pela utilização de agroquímicos, mas também pelo uso de fertilizantes.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, M.R.M.P.; NOVAES, A.C.; GUARINO, A.W.S. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, p. 1145-1154, 2002.

ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. New York: John Wiley, 1990. 339p.

ANUÁRIO brasileiro da fruticultura 2008. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2008. 136 p. Editado por R. R. Beling... et al.

BARONA, A.; ROMERO, F. Distribution of metals in soils and relationships among fractions by principal component analysis. **Soil Technology**, Cremlingen, v.8, p.303-319, 1996.

BERNARDI, A.C. C.; TAVARES, S. R. L.; CRISÓSTOMO, L. A. Alteração da fertilidade de um neossolo quartzarênico em função da lixiviação de nutrientes. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 4, p. 429-438, 2007.

BORGES, M.R.; COUTINHO, E.L.M. Metais pesados do solo após aplicação de bio sólido. I – Fracionamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.28, n.3, p. 543-555, 2004.

CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.28, p.125-136, 2004.

CAMARGO, M.S. et al. Adubação fosfatada e metais pesados em Latossolo cultivado com arroz. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, p.513-518, 2000.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F.; CASAGRANDE, J.C. Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.;

RAIJ, B.; ABREU, C.A. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: **Legis Summa**, p.89-124, 2001.

CAVALCANTE, E. G. S. et al. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.2, p.394-400, 2007.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - CEPEA. Disponível em: www.cepea.esalq.usp.br/pdf/certificacao.pdf. Acesso em 21 dez. 2008.

CINTRA, R. F.; VITTI, A.; BOTEON, M. Análise dos impactos da certificação das frutas brasileiras para o mercado externo. Disponível em: www.cepea.esalq.usp.br/pdf/certificacao.pdf. Acesso em 10 jan. 2009.

CONSOLINI, F.; COUTINHO, E. L. M. Efeito da aplicação de Zn e do pH do solo na disponibilidade do micronutriente. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 7-12, 2004.

DARILEK, J. L. et al. Changes in soil fertility parameters and the environmental effects in a rapidly developing region of China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 129, p. 286–292, 2009.

DELUISA, A. et al. Copper pollution in Italian vineyard soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 27, p.1537-1548, 1996.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. **Informações técnicas para o cultivo de feijão**. Brasília: Embrapa-SPI, 1996. 32p.

FALLEIRO, R. M. et al. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.27, p.1097-1104, 2003.

FARIA, C.M.B.; SOARES, J.M. **Distúrbio fisiológico em videira no Submédio São Francisco**. Petrolina, Embrapa Semi-Árido, 2004a. 4p. (Comunicado técnico, 117).

FARIA, C. M. B. de.; SILVA, M. S. L. da.; SILVA, D. J. **Alterações em características de solos do Submédio São Francisco sob diferentes sistemas de cultivo**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. 33 p.; (Embrapa Semi-Árido. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 74).

FLORES-VELES, L.M.et al. Study of the distribution of copper in an acid sandy vineyard soil by three different methods. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.47, p.523-532, 1996.

GRAHAM, M. H.; HAYNES, R. J.; MEYER, J. H. Changes in soil chemistry and aggregate stability induced by fertilizer applications, burning and trsh retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **European Journal os Soil Science**, Oxford, v.53, p. 589-598, 2002.

HAYNES, R. J.; MOKOLOBATE, M. S. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: a critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. **Nutrient cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 59, p. 47-63, 2001.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 413p.

KOMÁREK, M. et al. Copper contamination of vineyard soils from small wine producers: A case study from the Czech Republic. **Geoderma**, Amsterdam, v.147, p. 16–22, 2008.

KUMPIENE, J.; LAGERKVIST, A.; MAURICE, C. Stabilization of Pb- and Cu-contaminated soil using coal fly ash and peat. **Environmental Pollution**, Essex, v.145, p.365-373, 2007.

LACERDA, M. A. D. de.; LACERDA, R. D. de.; ASSIS, P. C. O. A participação da fruticultura no agronegócio brasileiro. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.4, n.1, 2004.

LASAT, M.M. Phytoextraction of toxic metal: a review of biological mechanisms. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.31, p.109-120, 2002.

LIMA, J.M.J.C. **Alterações de propriedades de solos cultivados com cana-de-açúcar**. 1995. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MAIA, J. L. T.; RIBEIRO, M. R. Cultivo contínuo da cana-de-açúcar e modificações químicas de um Argissolo Amarelo Fragipânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, DF, Brasília, v.39, n.11, p.1127-1132, 2004.

MANN, L.K. Changes in soil carbon storage after cultivation. **Soil Science**, Baltimore, v. 142, p. 279-288, 1986.

MARTINAZZO, R. **Diagnóstico da fertilidade de solos em áreas sob plantio direto consolidado**. 2006, 84f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MCBRIDE, M.B.; SPIERS, G. Trace element content of selected fertilizers and dairy manures as determined by ICP-MS. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.32, p.139-156, 2001.

MENDES, A. M. S. et al. Bioavailability of cadmium and lead in a soil amended with phosphorus fertilizers. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.63, n.4, p.328-332, 2006.

MERRY, R.H.; TILLER, K.G.; ALSTON, A.M. Accumulation of copper, lead and arsenic in some Australian orchard soils. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 21, p. 549-561, 1983.

MIELNICZUK, J. et al. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N. et al. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3, p.209-248.

MIRLEAN, N.; ROISENBERG, A.; CHIES, J.O. Copper-based fungicide contamination and metal distribution in Brazilian grape products. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v. 75, p.968-974, 2005.

MIRLEAN, N.; ROISENBERG, A.; CHIES, J. O. Metal contamination of vineyard soils in wet subtropics (southern Brazil). **Environmental Pollution**, Essex, v. 149, p. 10-17, 2007.

MORAES, J.F.L. **Conteúdos de carbono e tipologia de horizontes nos solos da bacia Amazônica**. 1991. 84f. Dissertação (Mestrado em-CENA, Universidade de São Paulo, Piracicaba).

NARIMANIDZE, E., BRUČKNER, H. Survey on metal contamination of agricultural soils in Georgia. **Land Degradation and Development** , Chichester, v.10, p.467-488, 1999.

NÚÑEZ, J. E. V.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. DO.; MAZUR N. Sistemas de preparo de solo e acúmulo de metais pesados no solo e na cultura do pimentão (*Capsicum Annum* L.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.1, p.113-119, 2006.

OLIVEIRA, T.S. **Metais pesados como indicadores de materiais de origem de solos**. 1996. 128 f. Tese (Doutorado em - Universidade Federal de Viçosa).

OLIVEIRA, R. de C. **Avaliação do movimento de cádmio, chumbo e zinco em solo tratado com resíduo-calcário**. 2002, 85f. Dissertação (Mestrado em Nutrição Mineral de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.

PEREIRA, W. L. M.; VELOSO, C. A. C.; GAMA, J. R. N. F. Propriedades químicas de um latossolo amarelo cultivado com pastagens na Amazônia oriental. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.3, p.531-537, 2000.

PRADO, R. M. A calagem e as propriedades físicas de solos tropicais: Revisão de Literatura. **Revista Biociência**, Taubaté, v.9, n.3, p.7-16, 2003.

PRASAD, B.R. et al. Forms of copper in soils of grape orchards. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, New Delhi, v. 32, p. 318-322, 1984.

PROCHNOW, L.I.; PLESE, L.M.; ABREU, M.F. Bioavailability of cadmium contained in single superphosphates produced from different Brazilian raw materials. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.32, p.283-294, 2001.

RAMOS, M. C. Metals in vineyard soil of the Penedès area (NE Spain) after compost application. **Journal of Environmental Management**, London, v. 78, p. 209-215, 2006.

Secretaria da Agricultura, Irrigação e Reforma - SEAGRI. Disponível em <http://www.seagri.ba.gov.br/noticias.asp?qact=view&exibir=clipping¬id=10279>. Acesso 24 de dezembro de 2008.

SILVA, D. J.; ARAÚJO, C. A. de S. Agricultura irrigada: a importância da adubação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife: SBCS, 2005. 1 CD-ROM.

SILVA, A.J.N.; RIBEIRO, M.R. Caracterização de um Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no estado de Alagoas: propriedades químicas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa-MG, v. 22, p. 291-299, 1998.

SOUZA, Z. M. de. et al. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, p.1763-1771, 2004.

TAN, K.H. **Environmental soil science**. 2.ed. New York: Marcel Dekker Inc., 2000. 452p.

TECCHIO, M. A. et al. Correlação entre a produtividade e os resultados de análise foliar e de solo em vinhedos de Niagara Rosada. **Ciência Agrotecnica**, Lavras, v. 30, n. 6, p. 1056-1064, 2006.

THEODORO, V.C.A. **Caracterização de sistemas de produção de café orgânico, em conversão e convencional**. 2001, 214 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras, Lavras.

THEODORO, V. C. A. et al. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p.1039-1047, 2003.

WIGHTWICK, A. et al. Sampling considerations for surveying copper concentrations in Australian vineyard soils. **Australian Journal of Soil Research**, Bourne, v.44, p.711–717, 2006.

YANG, S. M. et al. Long-term effects of manure and fertilization on soil organic matter and quality parameters of a calcareous soil in NW China. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 170, n. 2, p. 234-243, 2007.

CAPÍTULO I

**ALTERAÇÕES NA FERTILIDADE DOS SOLOS CULTIVADOS
COM VIDEIRA**

RESUMO

A exploração agrícola provoca alterações significativas nas características do solo que, dependendo do manejo, podem contribuir para aumentar ou diminuir sua capacidade produtiva. A fruticultura irrigada, por seu aporte intensivo de insumos, pode alterar substancialmente os solos. Este trabalho teve por objetivo analisar as alterações na fertilidade dos solos das áreas cultivadas com videira na região do Submédio São Francisco. Foram selecionadas oito áreas com videira em diferentes tempos de cultivo (5, 6, 8, 10, 12, 15 e 16 anos). Áreas adjacentes de caatinga foram utilizadas como referência. As seguintes características de solos foram analisadas: pH, Ca, Mg, Na, K e Al trocáveis; H+Al; P disponível; CO, SB, CTC (total e efetiva), m e V%, em amostras de solos coletadas nas profundidades 0-20 e 20-40 cm. As análises de laboratório foram efetuadas em três repetições. Os resultados analisados aplicando o teste F, correlação e Teste de Tukey. Pode-se concluir que a fertilidade dos solos decorrentes dos cultivos foi alterada em relação às áreas de referência nos tempos de cultivo avaliados. Os teores de matéria orgânica nos solos foram aumentados para a maioria das áreas de cultivo, o que teve efeito substancial na retenção e fornecimento de nutrientes como Ca, Mg e K. O manejo adotado quanto às fertilizações fosfatadas nas áreas cultivadas com videira, provocou aumento elevado na concentração de P disponível no solo. Os teores de P encontrados possibilitam a ocorrência de desequilíbrios nutricionais e de contaminação de aquíferos com o elemento. A área com 6 anos de cultivo de videira, uma área experimental da Embrapa, foi a que apresentou menor alteração em relação a área de referência, para a maioria dos atributos químicos analisados.

Palavras-chave: Eutroficação; Manejo do solo; Fertilização.

ABSTRACT

SOIL FERTILITY CHANGES IN VINEYARDS

Cultivation can substantially alter the soil characteristics either to improve or decrease its fertility, depending on the management practices. Vineyard soils are sensitive to soil changes due to the intensive chemical input. The research was performed aiming to study the soil fertility changes in vineyards soils of the São Francisco valley. Were selected eight grape farms posing different cultivation time spans (5, 6, 8, 10, 12, 15 and 16 years) as well as in Caatinga areas which were taken as a reference. The following soil fertility characteristics were determined: pH, exchangeable contents of Ca, Mg, Na, K and Al; H+Al; available P; organic carbon; sum of bases, CEC, Al saturation and base saturation. These analyses were carried out in soil samples from the 0-20 and 20-40 depths. The results analyzed using the F test, correlation and Tukey's test. The results showed that soil fertility was changed according to the length of cultivation as compared to reference areas. The soil organic matter contents were increased in the majority of vineyards. This resulted in increased contents of Ca, Mg and K. The intensive P fertilization in the areas provoked very high P concentrations in soil that can be undesirable owing to P leaching and nutrients unbalance. Of the analyzed areas the with 6 years of vine cultivation, experimental area of Embrapa, was the one that it presented smaller alteration in relation to reference area, for majority of the analyzed chemical attributes.

Key words: Eutrophication; soil management; fertilization.

1. INTRODUÇÃO

O homem, no intuito de aumentar a produção de alimentos, tende a modificar o sistema solo-água-planta atmosfera. Essas modificações muitas vezes, são positivas, como o incremento de matéria orgânica ao solo com o cultivo, promovendo o condicionamento do solo e melhorando as condições de desenvolvimento das culturas, aumento da fertilidade do solo pela prática da fertilização, além do combate às doenças das plantas, com aplicações de defensivos de forma racional, melhorando a sanidade dos cultivos. Outras vezes as modificações no solo são negativas, como a diminuição da fertilidade, em virtude da não reposição de quantidades ideais de nutrientes ao solo; e a contaminação ambiental, ocasionada pela utilização de fertilizantes e pesticidas sem critérios técnicos.

O solo é o principal suporte da produção agrícola, sendo seu comportamento regido por um complexo conjunto de fatores físicos, químicos e biológicos, submetidos à ação do clima, que interagem e tendem ao equilíbrio. O homem, através das práticas agrícolas, interfere neste sistema, alterando as propriedades físico-hídricas, químicas e biológicas do solo (SOUZA; ALVES, 2003). O entendimento das modificações nas propriedades químicas do solo, decorrentes do cultivo contínuo, pode fornecer subsídio para produção em bases sustentáveis (CANELLAS et al., 2003).

A remoção da vegetação nativa, acompanhada da aplicação de fertilizantes e corretivos, ocasiona alterações nas propriedades do solo e interfere no rendimento das culturas, assim como na conservação do solo e do ambiente (PEREIRA et al., 2000). As alterações nas propriedades químicas do solo, após a retirada da mata natural e a introdução de novas culturas, dependem de vários fatores, como a classe de solo, a sua fertilidade inicial, o comportamento químico de cada nutriente, suas interações com o meio, a cultura introduzida, como também o manejo e os tratamentos culturais adotados (PEREIRA et al., 2000).

Com o uso intensivo dos solos, sem a adoção de práticas de manejo adequadas, a tendência natural da maioria dos solos agrícolas é se tornarem improdutivos, havendo assim, a necessidade de acompanhamento sistemático da

fertilidade, visando identificar possíveis limitações de natureza físico-química para fins de proposições de adubação equilibrada e econômica, restabelecendo ou até mesmo elevando os níveis de produtividade (MOURA FILHO et al., 1991).

Algumas práticas de manejo promovem alterações significativas nas características do solo. As características químicas do solo que mais se relacionam à produtividade das culturas são a disponibilidade de nutrientes, capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V) e teor de matéria orgânica (M.O.) (FARIA et al., 2007).

Insumos tecnológicos que preconizam o aumento do potencial produtivo das lavouras englobam diversas práticas agrícolas tais como irrigação, fertirrigação, mecanização, correção da acidez do solo, adubação e fertilização e o controle fitossanitário de pragas e doenças, além de variados sistemas de manejo. Estas práticas e manejos podem tanto influenciar positivamente como negativamente a produção agrícola, o que depende largamente da racionalidade como os mesmos são aplicados, de forma que a sustentabilidade dos agroecossistemas está diretamente relacionada com a adoção e a forma de utilização desses insumos tecnológicos.

A aplicação de corretivos ao solo é uma prática bastante explorada que, em decorrência da reação química do material corretivo aplicado, promove várias alterações químicas no solo, como aumento do valor de pH, a neutralização do ferro e do alumínio trocável, a insolubilização do manganês, o fornecimento de cálcio e magnésio, modificações da capacidade de troca catiônica efetiva, alteração da disponibilidade de micronutrientes, entre outros efeitos (PRADO, 2003).

Solos submetidos a cultivos irrigados, normalmente sofrem alterações de ordem química, física e biológica em um tempo relativamente curto e em uma intensidade que varia em função da qualidade e quantidade da água aplicada, do manejo, uso de fertilizantes e características químicas e físicas dos solos. Dependendo dos cultivos, estes podem manter, melhorar ou piorar as características iniciais do solo que refletem sua capacidade produtiva (SILVA; ARAÚJO, 2005).

A intensidade de revolvimento do solo e de incorporação dos resíduos culturais promovem modificações nos teores de matéria orgânica (MO), na capacidade de troca de cátions (CTC), no pH, na dinâmica dos íons e na agregação

do solo. Estas modificações tornam-se mais evidentes conforme aumenta o tempo de uso da área (FALLEIRO et al., 2003).

A utilização prolongada de fertilizantes minerais e esterco de curral em uma área influenciam a matéria orgânica, bem como outros parâmetros de qualidade do solo, mas a magnitude dessas alterações depende das condições climáticas e do solo (YANG et al., 2007).

Práticas inadequadas de manejo são responsáveis pela redução da matéria orgânica do solo, ao passo que sistemas que favorecem o acúmulo de resíduos orgânicos promovem o seu incremento (MARTINAZZO, 2006). A ciclagem de nutrientes, a geração de cargas e a melhoria das características físicas do solo podem ser consideradas os principais benefícios da matéria orgânica do solo. Estes benefícios dependem do teor e da qualidade da matéria orgânica do solo que, por sua vez, estão diretamente associados ao manejo adotado.

A região do Submédio São Francisco vem se destacando no cenário nacional como a maior produtora e exportadora de uvas finas de mesa do Brasil. Concomitantemente, para que a demanda seja atendida, a utilização de práticas de manejo mais tecnificadas fazem-se necessárias. Portanto, em virtude da importância da cultura da uva para a região Nordeste, este trabalho teve como objetivo analisar as alterações na fertilidade dos solos de áreas cultivadas com videira na região do Submédio São Francisco.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local da coleta

Os solos utilizados para análises foram oriundos de áreas cultivadas com videira, localizados no município de Petrolina-PE. As coordenadas geográficas, tempos de cultivo e classificação dos solos de cada uma das áreas encontram-se na (Tabela 1).

Tabela 1. Identificação das áreas, coordenadas geográficas, tempos de cultivo e classificação dos solos dos vinhedos utilizados para coleta de solos em Petrolina-PE

Áreas de Coleta	Coordenadas	Tempos de Cultivo (TC)-(Anos)	Classificação dos Solos
Colinas do Vale	S 09° 27' 082" W 40° 36' 004"	5	Neossolo Quartzarênico
EMBRAPA	S 09° 08' 185" W 40° 18' 583"	6	Argissolo Amarelo Eutrófico plintico
Vale das Uvas	S 09° 20' 107" W 40° 22' 053"	8	Neossolo Quartzarênico
Fazenda Andorinha	S 09° 26' 915" W 40° 37' 016"	10	Neossolo Quartzarênico
Frutex	S 09° 19' 931" W 40° 27' 206"	12	Neossolo Quartzarênico
Bebedouro 1	S 09° 06' 619" W 40° 19' 471"	15	Argissolo Amarelo Eutrófico plintico
Fruit Fort	S 09° 22' 887" W 40° 34' 241"	16	Neossolo Quartzarênico
Bebedouro 2	S 09° 06' 581" W 40° 19' 447"	30	Argissolo Amarelo Eutrófico plintico

2.2 Coleta das amostras de solo

As amostras de solos foram coletadas em vinhedos com diferentes tempos de cultivo (5, 6, 8, 10, 12, 15, 16 e 30 anos), em dois ambientes distintos: área cultivada (AC - linha de plantio) e área de referência - caatinga (AR - vizinhas aos vinhedos, sem interferência antrópica) e em duas profundidades de 0-20 e 20-40 cm. Análises químicas e físicas das áreas sob cultivo são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Características químicas e físicas das amostras de solo das áreas de vinhedo em Petrolina-PE

Características	Vinhedos (Tempos de Cultivo)							
	5	6	8	10	12	15	16	30
pH	7,26	5,98	7,13	6,35	6,74	6,33	6,71	6,50
P (mg dm ⁻³)	1035,05	238,31	378,73	535,59	374,87	76,98	290,34	248,36
K (cmol _c dm ⁻³)	0,27	0,26	0,30	0,23	0,49	0,44	0,18	0,46
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	4,67	3,52	6,05	4,10	5,02	2,55	4,12	3,28
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,32	1,00	1,73	1,60	1,52	1,13	1,68	1,08
Al ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,05	0,13	0,00	0,08	0,07	0,07	0,07	0,05
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	0,69	0,85	0,93	1,79	1,02	1,29	0,96	1,07
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,28	0,24	0,27	0,31	0,31	0,24	0,20	0,29
CO (g kg ⁻¹)	9,15	10,23	10,47	13,32	10,05	6,41	9,84	7,34
MO (g kg ⁻¹)	15,77	17,63	18,05	22,96	17,32	11,05	16,97	12,66
CTC _{efetiva} (cmol _c dm ⁻³)	6,59	5,15	8,36	6,32	7,40	4,43	6,25	5,17
CTC _{total} (cmol _c dm ⁻³)	7,22	5,87	9,29	8,03	8,35	5,66	7,14	6,19
SB (cmol _c dm ⁻³)	6,54	5,02	8,36	6,24	7,34	4,36	6,18	5,12
V (%)	90,40	84,67	89,84	77,90	87,76	77,47	86,68	82,68
m (%)	0,77	2,43	0,00	1,34	0,93	1,51	1,06	0,97
Areia (%)	89,10	88,10	80,10	75,10	76,60	87,10	83,10	86,60
Silte (%)	4,00	5,00	9,00	10,00	10,50	5,00	5,00	5,50
Argila (%)	6,90	6,90	10,90	14,90	12,90	7,90	11,90	7,90

5= Colinas do Vale; 6= Embrapa; 8= Vale das Uvas; 10= Fazenda Andorinha; 12= Frutex; 15= Bebedouro1; 16= Fruit Fort e 30= Bebedouro 2.

Foram coletadas três amostras compostas de cada vinhedo. Para coleta das amostras, a área cultivada foi dividida em três parcelas iguais. De cada parcela, foram amostrados vinte pontos escolhidos aleatoriamente nas linhas de cultivo, para formação da amostra composta. Na área de caatinga, dada sua homogeneidade, foi coletada apenas uma amostra composta, porém a mesma foi analisada em triplicata.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente etiquetados, lacrados, embalados e armazenados em temperatura ambiente até serem transportados para UFRPE e se procederem às análises químicas e físicas.

2.3 Análises Químicas

As amostras utilizadas para análises foram secas ao ar, destorroadas, passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha e acondicionadas em temperatura ambiente. Os atributos químicos analisados foram: pH em água; K⁺ e

Na⁺ trocáveis por fotometria de emissão de chama, após extração com extrator Mehlich-1; Ca²⁺ e Mg²⁺ trocáveis e Al³⁺ trocável por titulação, após extração com solução de KCl 1 mol L⁻¹; H + Al por titulação, após extração com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹; fósforo disponível por colorimetria, após extração com extrator Mehlich-1 (EMBRAPA, 1999). O carbono orgânico (CO) pelo método de Walkley-Black modificado (SILVA et al., 1999). A partir dos resultados obtidos do complexo sortivo, foram calculados os valores de soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions total (T) e efetiva (t), saturação por bases (V%) e saturação por Al (m).

2.4 Análises Físicas

Foi realizada a análise da granulometria das amostras de solo pelo método do densímetro, de acordo com Embrapa (1997).

2.5 Análise Estatística

As análises de laboratório foram efetuadas em arranjo fatorial 8 x 2 x 2 (oito tempos de cultivo, dois ambientes, duas profundidades) com três repetições, totalizando 96 unidades experimentais. Os resultados experimentais foram analisados com a aplicação do teste F à análise de variância e por meio de análises de correlação e Teste de Tukey (P<0,05), utilizando o software *Statistical Analysis System* (SAS, 1999).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de matéria orgânica (MO) apresentaram diferença significativa ($P < 0,05$) entre área cultivada (AC) e caatinga (AR) para a maioria dos tempos de cultivo (TC) analisados (Tabela 3). As áreas com 5, 8, 10, 12 e 16 anos de cultivo, na profundidade de 0-20 cm, e as áreas com 8, 10, 12 e 16 anos de cultivo, na profundidade 20-40 cm, apresentaram os maiores valores na AC. Faria et al., (2007), trabalhando em áreas com diferentes tempos de cultivo de videira na região do Submédio São Francisco, encontraram aumento nos teores de MO, ao compará-las com áreas sem interferência antrópica. Este efeito é sobremaneira positivo para região em estudo, visto os muitos baixos teores de MO originalmente presentes no solo (Tabela 2) e a importância da mesma na geral estruturação, na retenção de nutrientes e na qualidade do solo. Foi verificado nas áreas em estudo, redução nos teores de matéria orgânica com a profundidade, tanto na área cultivada como na caatinga. Corroborando Corrêa et al. (2001), que também encontraram valores menores de matéria orgânica com a profundidade.

Não foi detectada diferença significativa para os teores de MO na área com 6 anos de cultivo, nas duas profundidades analisadas (Tabela 3). Isto pode estar relacionado ao fato de ser uma área experimental e as quantidades aportadas de esterco e resíduos vegetais serem inferiores às utilizadas nas áreas de empresas com fins de exportação.

Também não foi encontrada diferença significativa para o teor de MO, na área com 5 anos de cultivo, profundidade de 20-40 cm (Tabela 3). Esta ocorrência pode ser devido à adubação recente e o material utilizado não ter sofrido nenhum processo de decomposição, permanecendo, portanto, na camada superficial. De acordo com Souza e Alves, (2003), os teores de matéria orgânica do solo são maiores na camada superficial do solo, sendo esperada a diminuição da mesma com a profundidade.

As áreas com os TC de 15 e 30 anos apresentaram os maiores valores de MO em ambas as profundidades na AR (Tabela 3). Estas áreas pertencem a um colono do Projeto de Irrigação Bebedouro, que cultiva videiras da variedade Itália e

Tabela 3. Atributos da fertilidade do solo avaliados entre áreas cultivadas (AC) e caatinga (AR), nos diferentes tempos de cultivo(TC) e em duas profundidades

TC	MO		P		Ca		Mg		Na		K		H+Al		CTC		SB		V%	
	AC	AR	AC	AR	AC	AR	AC	AR	AC	AR	AC	AR	AC	AR	AC	AR	AC	AR	AC	AR
Profundidade 0-20 cm																				
5	15,77a	5,69b	1035,05a	6,50b	4,67a	1,10b	1,32a	0,43b	0,28a	0,19b	0,27a	0,05b	0,69a	0,66a	7,22a	2,43b	6,54a	1,77b	90,40a	72,85b
6	17,63a	12,18a	238,31a	5,04b	3,52a	2,33a	1,00a	0,73a	0,24a	0,24a	0,26a	0,28a	0,85a	0,94a	5,87a	4,53a	5,02a	3,59a	84,67a	79,37a
8	18,05a	9,00b	378,73a	11,38b	6,05a	1,35b	1,73a	0,67b	0,27a	0,23a	0,30a	0,23b	0,93b	3,08a	9,29a	5,56b	8,36a	2,48b	89,84a	44,70b
10	22,96a	7,21b	535,59a	3,00b	4,10a	0,68b	1,60a	0,35b	0,31a	0,21a	0,23a	0,05b	1,79a	1,21a	8,03a	2,51b	6,24a	1,30b	77,90a	51,53b
12	17,32a	7,37b	374,87a	189,12b	5,02a	3,35b	1,52a	1,37a	0,31a	0,24a	0,49a	0,57a	1,02a	0,58a	8,35a	6,10b	7,34a	5,53b	87,76a	90,50a
15	11,05b	15,37a	76,98a	3,20b	2,55a	1,83b	1,13a	0,53a	0,24a	0,24a	0,44a	0,26b	1,29b	2,20a	5,66a	5,07a	4,36a	2,87b	77,47a	56,50b
16	16,97a	7,79b	290,34a	2,00b	4,12a	1,83b	1,68a	0,73b	0,20a	0,22a	0,18a	0,15a	0,96b	1,65a	7,14a	4,58b	6,18a	2,93b	86,68a	63,98b
30	12,66b	15,37a	248,36a	3,20b	3,28a	1,83b	1,08a	0,53a	0,29a	0,24a	0,46a	0,26b	1,07b	2,20a	6,19a	5,07b	5,12a	2,87b	82,68a	56,50b
Profundidade 20-40 cm																				
5	9,83a	5,39a	467,35a	2,97b	3,00a	0,82b	1,00a	0,27b	0,25a	0,20b	0,22a	0,06b	0,25b	0,80a	4,72a	2,14b	4,47a	1,34b	94,86a	62,41b
6	11,15a	8,13a	179,98a	2,59b	2,13a	2,02a	0,63a	0,45a	0,23a	0,21a	0,23a	0,25a	1,60a	0,91b	4,83a	3,84a	3,23a	2,93a	66,65b	76,37a
8	11,49a	5,34b	325,66a	5,31b	4,92a	0,92b	1,20a	0,65a	0,28a	0,22b	0,26a	0,24a	0,33b	2,72a	6,98a	4,75b	6,65a	2,03b	95,57a	42,75b
10	20,72a	6,51b	827,75a	2,04b	4,50a	0,38b	1,98a	0,33b	0,36a	0,19b	0,25a	0,04b	0,88b	1,05a	7,97a	1,99b	7,09a	0,94b	88,97a	47,34b
12	11,38a	4,78b	197,18a	140,88a	3,62a	2,82b	1,42a	1,15a	0,28a	0,25a	0,39a	0,38a	1,07a	0,55a	6,77a	5,15b	5,70a	4,60a	83,99a	89,30a
15	8,32b	13,76a	50,64a	1,10b	2,63a	1,73b	1,23a	1,08a	0,25a	0,24a	0,39a	0,28b	1,32b	2,64a	5,83a	5,98a	4,51a	3,34b	77,32a	55,74b
16	12,26a	5,20b	321,72a	1,02b	3,58a	1,67b	1,55a	0,62b	0,22a	0,20a	0,15a	0,18a	0,69b	2,12a	6,19a	4,79a	5,50a	2,67b	89,12a	55,77b
30	9,72b	13,76a	39,65a	1,10b	3,15a	1,73b	1,07a	1,08a	0,27a	0,24a	0,42a	0,28b	1,24b	2,64a	6,14a	5,98a	4,90a	3,34b	79,87a	55,74b

5= Colinas do Vale; 6= Embrapa; 8= Vale das Uvas; 10= Fazenda Andorinha; 12= Frutex; 15= Bebedouro1; 16= Fruit Fort e 30= Bebedouro 2. Médias seguidas pela mesma letra (entre AC e AR, para o mesmo TC, atributo e profundidade) não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

comercializa seus frutos no mercado interno, não realizando maiores investimentos nos seus vinhedos. Almeida et al. (2005) verificaram teores mais elevados de matéria orgânica em campo nativo, onde a mesma ficou mais preservada em virtude da não-mobilização do solo, da maior diversidade de espécies vegetais e da provável maior reciclagem do carbono propiciada pela reposição continuada do material orgânico vegetal. Para Cavalcante et al. (2007), os sistemas de preparo convencional apresentam redução substancial nos teores de MO, provavelmente pelo uso de manejo inadequado.

Algumas alterações decorrentes do cultivo são benéficas ao ambiente, como por exemplo, o incremento de material orgânico ao solo, em virtude das múltiplas funções que o mesmo desempenha no solo. Corroborando os resultados de Favaretto et al. (2000); Pontelli et al. (2009), a matéria orgânica, especialmente sob condições tropicais e subtropicais, é responsável pela retenção de cátions, melhoria da estrutura e agregação, fornecimento de nutrientes e incremento da atividade biológica. Portanto, o aumento de matéria orgânica no solo observado para a maioria das áreas é de suma importância para a viticultura.

Na região do Submédio São Francisco, a maioria dos vinhedos é adubada a cada ciclo vegetativo, utilizando esterco, nitrogênio, fósforo e potássio de forma equilibrada, sempre respeitando as necessidades da cultura e as certificadoras de qualidade. De acordo com Rodrigues Filho e Sabino (1984), para que seja alcançado sucesso na aplicação da matéria orgânica, esta deve ser aplicada ao solo juntamente com a adubação mineral NPK. Em áreas cultivadas com videira, o acréscimo de material orgânico muitas vezes ocorre em função de uma maior adição de material vegetal ao solo, por meio da queda das folhas em senescência e de folhas e ramos finos das podas realizadas nos parreirais, utilizadas como adubo verde. Faria et al. (2004) elevaram os teores de matéria orgânica do solo cultivado com videira, utilizando leguminosa como adubação verde. Resultados semelhantes foram obtidos por Shen et al. (2007).

A matéria orgânica (MO) apresentou correlações positivas e altamente significativas com Ca, Mg, CTC e SB na profundidade de 0-20 cm, e com o P, Ca, Mg, Na, CTC e SB de 20-40 cm para AC (Tabela 4). A matéria orgânica tem uma grande importância para ciclagem da maioria dos nutrientes, além de contribuir para

Tabela 4. Coeficientes de correlação linear de Pearson entre os atributos da fertilidade do solo em áreas cultivadas (AC) e caatinga (AR)

Áreas		pH	MO g kg ⁻¹	P mg dm ⁻³	Ca	Mg	Na cmol _c dm ⁻³	K	H+Al
Profundidade 0-20 cm									
MO	AC	-0,16 ^{ns}	-	0,35 ^{ns}	0,55**	0,58**	0,32 ^{ns}	-0,38 ^{ns}	0,30 ^{ns}
	AR	-0,36 ^{ns}	-	-0,28 ^{ns}	0,17 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	0,42*	0,23 ^{ns}	0,46*
P	AC	0,47*	0,35 ^{ns}	-	0,46*	0,25 ^{ns}	0,34 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	-0,15 ^{ns}
	AR	0,55**	-0,28 ^{ns}	-	0,75**	0,75**	0,17 ^{ns}	0,81**	-0,43*
Ca	AC	0,53**	0,55**	0,46*	-	0,62**	0,30 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,25 ^{ns}
	AR	0,47*	0,18 ^{ns}	0,75**	-	0,72**	0,42*	0,86**	-0,29 ^{ns}
Mg	AC	0,32 ^{ns}	0,58**	0,25 ^{ns}	0,62**	-	0,23 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	0,00 ^{ns}
	AR	0,34 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	0,75**	0,72**	-	0,25 ^{ns}	0,74**	-0,25 ^{ns}
K	AC	0,00 ^{ns}	-0,38 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	0,44*	-	-0,03 ^{ns}
	AR	0,29 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,81**	0,86**	0,74**	0,45*	-	-0,10 ^{ns}
H+Al	AC	-0,47*	0,30 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	-0,00 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-
	AR	-0,94**	0,46*	-0,43*	-0,29 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	0,14 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-
CTC	AC	0,38 ^{ns}	0,68**	0,38 ^{ns}	0,90**	0,78**	0,40*	-0,07 ^{ns}	0,10 ^{ns}
	AR	-0,20 ^{ns}	0,40*	0,49*	0,74**	0,65**	0,50**	0,80**	0,40 ^{ns}
SB	AC	0,52**	0,58**	0,42*	0,97**	0,77**	0,38 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,21 ^{ns}
	AR	0,43*	0,11 ^{ns}	0,81**	0,97**	0,86**	0,43*	0,91**	-0,27 ^{ns}
V	AC	0,60**	0,10 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,67**	0,39 ^{ns}	0,12 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,87**
	AR	0,90**	-0,23 ^{ns}	0,66**	0,73**	0,62**	0,12 ^{ns}	0,54**	-0,82**
Profundidade 20-40 cm									
MO	AC	-0,08 ^{ns}	-	0,76**	0,57**	0,57**	0,51**	-0,13 ^{ns}	0,01 ^{ns}
	AR	-0,46*	-	-0,32 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,50**
P	AC	0,33 ^{ns}	0,76**	-	0,54**	0,63**	0,57**	-0,42*	-0,42*
	AR	0,63**	-0,32 ^{ns}	-	0,67**	0,38*	0,35 ^{ns}	0,57**	-0,48*
Ca	AC	0,48**	0,57**	0,54**	-	0,57**	0,46*	-0,06 ^{ns}	-0,48 ^{ns}
	AR	0,38 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,67**	-	0,51**	0,54**	0,85**	-0,13 ^{ns}
Mg	AC	0,16 ^{ns}	0,57**	0,63**	0,57**	-	0,55**	-0,01 ^{ns}	-0,27 ^{ns}
	AR	-0,13 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,51**	-	0,48*	0,67**	0,37 ^{ns}
K	AC	-0,37 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	-0,42*	-0,06 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,22 ^{ns}	-	0,37 ^{ns}
	AR	-0,00 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,57**	0,85**	0,67**	0,73**	-	0,24 ^{ns}
H+Al	AC	-0,94**	0,01 ^{ns}	-0,41*	-0,48*	-0,27 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	0,37 ^{ns}	-
	AR	-0,92**	0,50**	-0,48*	-0,13 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,24 ^{ns}	-
CTC	AC	0,01 ^{ns}	0,70**	0,49*	0,84**	0,75**	0,57**	0,21 ^{ns}	-0,03
	AR	-0,40*	0,49*	0,20 ^{ns}	0,63**	0,81**	0,63**	0,84**	0,68**
SB	AC	0,39 ^{ns}	0,63**	0,61**	0,95**	0,79**	0,59**	0,03 ^{ns}	-0,43*
	AR	0,19 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,64**	0,93**	0,78**	0,62**	0,91**	0,08 ^{ns}
V	AC	0,91**	0,14 ^{ns}	0,51**	0,68**	0,47*	0,31 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	-0,94**
	AR	0,82**	-0,17 ^{ns}	0,74**	0,79**	0,26 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,49*	-0,66**

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

^{ns} Não significativo

e elevar a CTC dos solos tropicais e conseqüentemente a soma de bases. Resultados semelhantes foram observados por Barreto et al. (2003). Bayer et al. (1999) defendem que a CTC dos solos é dependente da matéria orgânica. De acordo com Canellas et al. (2003), a contribuição da matéria orgânica para CTC dos solos é importante, principalmente sob condições tropicais, o que favorece a retenção de cátions e diminui as perdas por lixiviação. Estes autores também enfocam que, nos solos de mineralogia predominantemente caulinitica 1:1, a matéria orgânica do solo comanda o desenvolvimento de cargas na superfície, sendo natural a maior

capacidade de troca encontrada nas áreas de maior aporte de matéria orgânica. Ciotta et al. (2003); Fernández et al. (2007) verificaram que, apesar de pequeno, o acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo em sistema de plantio direto resultou num importante aumento nos valores de CTC efetiva.

A correlação entre MO x P na profundidade de 20-40 cm para AC (Tabela 4), deve-se provavelmente à utilização de P na forma de esterco ou de outras fontes orgânicas proporcionando o transporte de P no perfil e incremento do mesmo nas camadas subsuperficiais. A aplicação constante de esterco animal, a exsudação radicular e o metabolismo dos microrganismos, como fontes naturais de reposição de ácidos orgânicos no solo, podem manter o processo de bloqueio dos sítios de adsorção de P de maneira mais contínua. Vale salientar que os ácidos orgânicos de alta massa molecular (ácidos húmicos e fúlvicos) persistem por mais tempo no solo, e são mais efetivos na complexação de elementos tóxicos, como o Al, portanto esses compostos podem ser mais importantes que os ácidos orgânicos de baixa massa molecular na inibição da adsorção de P no solo (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

Elevados teores de P disponível foram encontrados nos solos da região (Tabela 3). De acordo com Canellas et al. (2003), efeitos cumulativos de nutrientes no solo foram observados através da aplicação de fertilizantes. Os solos das áreas em estudo são bastante arenosos (Tabela 2), possuindo um fator capacidade de fósforo baixo. Isto é bastante preocupante, em virtude da sua maior mobilidade no perfil do solo, dado os elevados valores obtidos nas camadas subsuperficiais, o que nos leva a crer que os solos tenham atingido a adsorção máxima desse elemento, podendo vir a causar problemas relativos à eutroficação de águas, considerando a proximidade dessas áreas cultivadas ao rio São Francisco.

De maneira geral, o P apresentou diferença significativa entre as áreas cultivadas e as áreas de referência em ambas as profundidades (Tabela 3). As áreas com 5 e 10 anos de cultivos apresentaram os maiores valores de P nas áreas cultivadas, na profundidade de 0-20 cm (1035,05 e 535,59 mg dm⁻³, respectivamente), constatando-se teores de P 159 e 178 vezes superiores as respectivas áreas de referência. Na profundidade de 20-40 cm, também foram encontrados valores bastante elevados na AC com 5 e 10 anos, respectivamente

157 e 405 vezes superiores as áreas de referência. Araújo et al, (2000) encontraram teores de fósforo no solo da área cultivada significativamente superiores àqueles do solo na condição de mata nativa. Essas áreas com 5 e 10 anos de cultivo pertencem a empresas exportadoras de grande porte, que praticam a exploração agrícola em um nível mais tecnificado, com uso mais intenso e constante de fertilizantes minerais, agroquímicos e outros insumos agrícolas, que visam maior produtividade.

Este aporte elevado de P nas áreas em estudo se deve, principalmente, as fertilizações inorgânicas que são realizadas a cada ciclo da cultura. O P é um nutriente considerado de baixa mobilidade no solo, no entanto o mesmo pode apresentar elevada mobilidade em função da irrigação, do tipo de solo e da forma como é aplicado. Esta elevada quantidade do nutriente encontrada na profundidade de 20-40 cm pode estar relacionada com a textura arenosa (Tabela 2), das áreas em estudo. Além da textura, a frequência de aplicação e a quantidade de água são fatores que afetam o transporte de fósforo no solo. Em solos arenosos irrigados por métodos de irrigação localizada, como gotejamento, pode ocorrer uma movimentação considerável do fósforo, colocando-o, inclusive, fora da zona de maior concentração de raízes (BERNARDI et al., 2007; SILVA; ARAÚJO, 2005). Para Girotto et al. (2006), o aumento no teor de fósforo disponível até a camada de 40-60 cm, evidencia a transferência de fósforo no solo. Isso se deve ao fato de que o acúmulo de P em camadas superficiais diminui a capacidade do solo em adsorver fosfato, aumentando a mobilidade do P em profundidade. Uma das consequências desta transferência de fósforo em profundidade pode ser a contaminação de águas subsuperficiais (GIROTTTO, et al., 2006). Corrêa et al. (2001) atribuíram os elevados teores de P, as aplicações de fertilizantes fosfatados que, em geral, resulta no aumento de P disponível em solos sob cultivos.

Foi observada correlação positiva e altamente significativa do P com Ca, K, SB, V% para a AR em ambas as profundidades (Tabela 4). Isto pode indicar fósforo ligado a cátions, especialmente a Ca, composto com baixa solubilidade no solo.

Os teores de Ca na área cultivada foram significativamente alterados em relação à AR nas duas profundidades analisadas, sendo os maiores valores encontrados na área cultivada (Tabela 3). Esse aumento decorre, possivelmente, da aplicação de calcário, bem como de fertilizantes fosfatados. Somente a área com 6

anos de cultivo não apresentou diferença significativa entre os ambientes analisados. A não alteração da AC com 6 anos de cultivo em relação a AR, sugere uma provável menor utilização de insumos tecnológicos, como por exemplo calcário, o que pode ser comprovado pelo menor valor de pH, de 5,98, em relação as demais áreas (Tabela 2). Faria et al. (2007) trabalhando numa área cultivada com videira há 12 anos na Região do Submédio São Francisco, também encontraram valores mais altos de Ca na área cultivada quando comparado a um solo sob Caatinga. Almeida et al. (2005) encontraram em campo nativo, teores de Ca e de Mg bastante inferiores aos obtidos nas áreas de plantio convencional, pelo fato do campo nativo não ter sofrido calagem e adubação. Segundo Luchine (2008), o aumento nos teores de Ca trocável no solo pode ser justificado em função das fontes e doses de fertilizantes fosfatados utilizados nas áreas, em decorrência do Ca fazer parte da composição desses fertilizantes. De acordo com Côrrea et al. (2001); Prado et al. (2003) aumento nos teores de Ca no solo se deve a aplicação do calcário, utilizado para elevar o pH. Tissi et al. (2004), aumentaram linearmente o pH do solo aplicando doses de calcário, elevando os teores de Ca e Mg trocáveis e a saturação por bases e reduzindo de forma linear os teores de H + Al.

Para o Mg, os teores apresentaram diferença significativa entre os ambientes analisados, apenas nas áreas com 5, 8, 10 e 16 anos de cultivo, na profundidade de 0-20 cm e nas áreas com 5, 10 e 16 anos de cultivo na profundidade de 20-40 cm, sendo os maiores valores observados nas áreas cultivadas (Tabela 3). Esta alteração deve-se, possivelmente, ao efeito da calagem, utilizada não somente para elevar o pH, mas também para aumentar os teores Ca e Mg no solo, e reduzir os teores de H+Al. Também é bastante comum o uso de sulfato de magnésio tanto nas adubações de fundação, quanto nas pulverizações. Para Caíres e Rosolem (1998) é evidente o efeito da calagem no aumento dos valores de pH e de saturação por bases, bem como nos teores de cálcio e magnésio. De acordo com Amaral e Aghinoni, (2001); Côrrea et al. (2001), a calagem promove aumentos nos teores de Ca e Mg do solo.

Os teores de H+Al apresentaram diferença significativa entre AC e AR em quase todos os tempos de cultivo avaliados (Tabela 3), sendo os maiores valores encontrados na AR, comprovando-se o efeito da utilização da calagem nas áreas

cultivadas. Silva et al. (1997); Tissi et al. (2004) aumentaram os valores de pH, Ca e Mg, e reduziram os teores de H + Al utilizando a calagem.

Valores próximos aos encontrados na profundidade de 0-20 cm na AC e AR para Ca e Mg também foram observados na profundidade de 20-40 cm, nos dois ambientes analisados (Tabela 3), devido provavelmente à complexação orgânica desses cátions e posterior lixiviação para subsuperfície. Segundo Franchini et al. (1999 e 2001), a movimentação do Ca e do Mg pode ser explicada pela complexação orgânica desses cátions, porém, essa complexação depende, também, de resíduos vegetais na superfície do solo. Corroborando Gatiboni et al. (2003) os quais reportaram que a decomposição dos resíduos vegetais a partir da superfície do solo origina compostos orgânicos hidrossolúveis, os quais têm sido apontados como sendo os responsáveis pela complexação de Ca nas camadas superficiais, seguido de migração no perfil do solo. Em consonância com Canellas et al. (2000), a formação de complexos solúveis entre os grupamentos funcionais oxigenados da matéria orgânica com Ca^{2+} e Mg^{2+} aumenta a mobilidade dos cátions. Esses teores de Ca e Mg em subsuperfície também podem ter ocorrido em virtude da textura arenosa e da baixa capacidade de retenção de cátions das áreas em estudo, o que deixou os cátions livres na solução, facilitando a lixiviação.

Correlações positivas e significativas foram encontradas entre Ca x CTC, SB, V%, enquanto o Mg apresentou correlação positiva e significativa com CTC e SB tanto para AC quanto para AR nas duas profundidades (Tabela 4). De acordo com Araújo et al. (2000), a prevalência do Ca entre os cátions trocáveis nos ambientes analisados, determinou as correlações positivas com os parâmetros CTC, SB e V%, no entanto, o efeito positivo do Mg, nos valores de CTC e SB na AC, deve-se, possivelmente, ao enriquecimento da AC com esse elemento fornecido por meio da calagem. Segundo Amaral et al. (2004), a aplicação do calcário na superfície do solo aumenta o cálcio e o magnésio trocáveis, diminui o teor de alumínio trocável e eleva a CTC efetiva.

Diferença significativa para os teores de sódio, só foi observada na área com 5 anos de cultivo na profundidade de 0-20 cm, enquanto na profundidade de 20-40 cm apenas as áreas com 5, 8 e 10 anos de cultivo apresentaram diferença significativa Tabela 3.

De maneira geral, diferença significativa ($P < 0,05$) entre AC e AR, em ambas as profundidades, foram observadas para os teores de K nos tempos de cultivos avaliados (Tabela 3). Apenas as áreas com 6, 12 e 16 anos de cultivo, na profundidade de 0-20 cm e as áreas com 6, 8, 12 e 16 anos de cultivo, na profundidade de 20-40 cm, não apresentaram diferença significativa. Valores bem próximos de K foram encontrados nas duas profundidades analisadas, provavelmente pelo fato de que, no momento da coleta das amostras do solo em estudo, a precipitação na região, ultrapassava os 100 mm, portanto, esses elevados valores de K, na profundidade de 20-40 cm foram detectados devido à lixiviação do mesmo em virtude das fortes precipitações. De acordo com Rosolem et al. (2006) a ação da água das chuvas, independentemente da decomposição da matéria orgânica, pode constituir um fator importante na lixiviação de nutrientes de restos vegetais. Corrêa et al. (2001) atribuem os elevados valores de K encontrados na camada de 40-60 cm ao seu deslocamento no perfil do solo, em função das intensas precipitações locais. A utilização da fertirrigação também influencia o deslocamento deste K para as camadas mais profundas.

Correlação altamente significativa e positiva foi observada entre pH x Ca, SB, V% na profundidade de 0-20 cm e pH x Ca, V% na profundidade de 20-40 cm para as AC; e pH x P, V% para as AR nas duas profundidades analisadas. Foi observada também correlação significativa e negativa entre pH x H+Al para AC e AR em ambas as profundidades (Tabela 4). Araújo et al. (2000), avaliando alterações químicas em solos cultivados com mandioca e sob mata nativa, encontraram correlação semelhante para pH x Ca e refutaram os resultados obtidos para pH x SB e V% na AC. No entanto, Silva et al. (2007) encontraram correlação entre pH e V%, e atribuíram o fato, principalmente, às mudanças no pH, as quais estão associadas a aplicações de carbonatos de cálcio e magnésio que, além de diminuir a acidez ativa (pH), potencial (H+Al) e trocável (Al), fornecem cátions trocáveis (Ca e Mg) para o solo, aumentando, assim, a soma de bases e, conseqüentemente, a saturação por bases.

A relação entre pH x Ca, SB, V%, provavelmente foram influenciadas pelo sistema de uso da terra, o que pode ser comprovado pela baixa significância entre o pH x Ca e SB da área de referência (Caatinga) (Tabela 4). Isso demonstra que a

utilização de corretivos agrícolas, bem como de fertilizantes, promovem aumentos nas bases trocáveis do solo, conseqüentemente no pH do mesmo. Almeida et al. (2005) encontraram resultados similares em área de plantio direto, em comparação a um campo nativo. De forma geral, o pH das áreas de referência do referido estudo apresentaram valores mais baixos do que nas áreas cultivadas (Tabela 2). Almeida et al. (2005) enfatizam que, em campo nativo, os valores de pH aparecem mais baixos, pelo fato de a acidez não ter sido corrigida.

O H+Al apresentou correlação negativa com V% e pH em ambos locais e profundidades estudadas (Tabela 4). A correlação negativa com V% e pH indicam que, à medida que se aumenta a ocupação das cargas negativas do solo com as bases (Ca, Mg, K, Na), diminui a ocupação destas cargas por H e Al.

Os valores de CTC diferiram significativamente ($P < 0,05$) nas áreas com 5, 8, 10, 12, 16 e 30 anos de cultivo, na profundidade de 0-20 cm, enquanto na profundidade de 20-40 cm apenas as áreas com 5, 8, 10 e 12 anos apresentaram maiores valores em relação à AR (Tabela 3). Faria et al. (2004) obtiveram incremento na CTC do solo cultivado com videira utilizando adubação verde. Um dos fatores determinantes nesta diferença foi o aumento no teor de matéria orgânica no solo cultivado, com conseqüente elevação dos sítios de troca. Para Canellas et al. (2000), há grande contribuição da matéria orgânica para a CTC dos solos, principalmente nos horizontes superficiais, como também há grande contribuição dessa fração nas propriedades físico-químicas do solo. Segundo Maia e Ribeiro (2004), a CTC está relacionada com a atividade e o conteúdo da matéria orgânica, sendo seus valores maiores nos solos com maior teor de carbono.

De maneira geral, diferença significativa foi observada para os atributos SB e V% entre as áreas cultivadas e as áreas de referência, nos tempos de cultivo avaliados e em ambas as profundidades (Tabela 3). Esses dois atributos químicos são excelentes indicativos das condições gerais da fertilidade do solo, sendo bastante utilizados na classificação de solos quanto ao caráter eutrófico. A soma de bases reflete a soma de cálcio, magnésio, potássio e sódio, todos na forma trocável, no complexo de troca de cátions do solo. E saturação por bases reflete o percentual de pontos potenciais de troca de cátions, no complexo coloidal do solo, ocupado por bases, ou seja, o percentual de cargas negativas passíveis de troca a pH 7,0

ocupadas por Ca, Mg, K e Na, em comparação com aquelas ocupadas por H e Al.

Comparando-se os valores (CTC, SB, V%) avaliados da AC com a tabela dos níveis de interpretação de fertilidade do solo elaborados pela Embrapa Semi-Árido (FARIA et al., 2007) (Tabela 5), observa-se que a CTC está na faixa média, entre 5,66 - 9,29 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; para SB os valores estão na faixa entre médios (4,36) e altos (8,36 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); e os valores de V% estão na faixa entre alto (77,47) e muito alto (90,40%).

Tabela 5. Níveis de interpretação de fertilidade do solo elaborados pela Embrapa Semi-Árido para valores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e alumínio (Al) trocáveis e soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação de bases (V), fósforo (P) disponível e matéria orgânica (MO) do solo

Atributo do solo		Níveis				
		Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
Ca	($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	-	< 1,8	1,8-3,6	> 3,6	-
Mg	($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	-	< 0,7	0,7-1,5	> 1,5	-
K	($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	< 0,08	0,08-0,15	0,16-0,25	0,26-0,40	> 0,40
Al	($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	-	< 0,4	0,4-1,0	> 1,0	-
SB	($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	-	< 2,8	2,8-5,6	> 5,6	-
CTC	($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	-	< 5,0	5,0-10,0	> 10,0	-
V	(%)	< 25	25-50	51-70	71-90	> 90
P-solo arenoso	(mg dm^{-3})	< 5	5-10	11-20	21-40	> 40
P-solo argiloso	(mg dm^{-3})	-	< 5	5-10	11-20	> 40
MO	(g kg^{-1})	-	< 15	15-30	> 30	-

Faria et al. (2007)

Das áreas cultivadas analisadas para profundidade de 0-20 cm, a área com 15 anos de cultivo foi a que apresentou os menores valores com relação à CTC, SB e V%; Esses baixos níveis detectados podem ser decorrentes da falta ou utilização mínima de insumos tecnológicos no cultivo das videiras. Esta área é de um colono do Projeto Bebedouro, e sua produção é comercializada no mercado interno. No entanto, a área com 8 anos de cultivo apresentou os maiores valores para CTC e SB; e a área com 5 anos de cultivo apresentou o maior valor de V%. Estas áreas pertencem a grandes empresas exportadoras de uva, as quais fazem uso intenso de insumos (calcário e adubos orgânicos), visto a necessidade de obter produções cada vez mais elevadas.

4. CONCLUSÕES

1. A fertilidade dos solos decorrentes dos cultivos foi alterada em relação às áreas de referência, nos tempos de cultivo avaliados;
2. Os teores de matéria orgânica nos solos foram aumentados para a maioria das áreas de cultivo. Isto teve efeito substancial na retenção e fornecimento de nutrientes como Ca, Mg e K;
3. O manejo adotado quanto às fertilizações fosfatadas nas áreas cultivadas com videira, proporcionou aumento na concentração de P disponível no solo. Esses aumentos possibilitam a ocorrência de desequilíbrios nutricionais e de contaminação de aquíferos com o elemento;
4. A área com 6 anos de cultivo de videira, uma área experimental da Embrapa, foi a que apresentou menor alteração em relação a área de referência, para maioria dos atributos químicos analisados.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. A. de. et al. Propriedades químicas de um cambissolo húmico sob preparo convencional e Semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, p. 437-445, 2005.

AMARAL, M. A. S. et al. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um cambissolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, p. 359-367, 2004.

AMARAL, A. S. do.; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 695-702, 2001.

ARAÚJO, M. A. et al. Avaliação do impacto do cultivo nas características químicas e na agregação de um latossolo vermelho distrófico do noroeste do Paraná. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 22, n. 4, p.1045-1053, 2000.

BARRETO, J. A. et al. Propriedades químicas dos solos cultivados com maracujazeiro na Serra do Cuité, Estado da Paraíba. **Agropecuária Técnica**, Areia, v.24, n.1, 2003.

BAYER, C. & BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase a matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, p.687-694, 1999.

BERNARDI, A.C. DE C.; TAVARES, S. R. DE L.; CRISÓSTOMO, L. DE A. Alteração da fertilidade de um neossolo quartzarênico em função da lixiviação de nutrientes. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 4, p. 429-438, 2007.

CANELLAS, L. P. et al. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.27, p.935-944, 2003.

CANELLAS, L. P.; BERNER, P. G.; SILVA, S. G. DA.; SILVA, M. B. E.; SANTOS, G. DE A. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma toposseqüência no estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.35, n.1, p.133-143, 2000.

CAVALCANTE, E. G. S. et al. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.2, p.394-400, 2007.

CIOTTA, M. N. et al. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.6, p.1161-1164, 2003.

CORRÊA, M. C. DE M.; CONSOLINI, F.; CENTURION, J. F. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1159-1163, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1997. 212p.

FALLEIRO, R. M. et al. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.27, p.1097-1104, 2003.

FARIA, C. M. B. de.; SILVA, M. S. L. da.; SILVA, D. J. **Alterações em características de solos do Submédio São Francisco sob diferentes sistemas de cultivo**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. 33 p. (Embrapa Semi-Árido. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 74).

FARIA, C. M. B.; SOARES, J. M.; LEÃO, P. C. S. Adubação verde com leguminosas em videira no Submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.28, p.641-648, 2004.

FAVARETTO, N. et al. Efeito da revegetação e da adubação de área degradada na fertilidade do solo e nas características da palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.35, n.2, p.289-297, 2000.

FERNÁNDEZ, R. O. et al. Soil properties and crop yields after 21 years of direct drilling trials in southern Spain. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, p. 47–54, 2007.

FRANCHINI, J. C. et al. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.2, p.357-360, 2001.

FRANCHINI, J.C. et al. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, p.533-542, 1999.

GATIBONI, L. C. et al. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.2, p.283-290, 2003.

GIROTTI, E. et al. Alterações em propriedades químicas no solo após sucessivas aplicações de dejetos líquidos de suíno. Disponível em: w3.ufsm.br/ppgcs/congressos/FertBio_2006/nao%20foi4.pdf. Acesso em: 12 jan. 2009.

LUCHINI, I. **Fósforo disponível em solos ácidos e corrigidos com aplicação de fosfatos solúvel, reativo e natural**. 2008. 34f. Dissertação (Mestrado). Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente.

MAIA, J. L. T.; RIBEIRO, M. R. Cultivo contínuo da cana-de-açúcar e modificações químicas de um Argissolo Amarelo Fragipânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.39, n.11, p.1127-1132, 2004.

MARTINAZZO, R. Diagnóstico da fertilidade de solos em áreas sob plantio direto consolidado. 2006. 84f. **Dissertação** (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MOURA FILHO, G.; DANTAS, J. P.; TRINDADE, A. V. Caracterização da fertilidade de dois solos de Mamanguape, Estado da Paraíba. **Ciência Agrícola**, Maceió, v.1, n.1, p.29-36, 1991.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. Revisão de Literatura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.32, p.911-920, 2008.

PEREIRA, W. L. M.; VELOSO, C. A. C.; GAMA, J. R. N. F. Propriedades químicas de um latossolo amarelo cultivado com pastagens na Amazônia oriental. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.3, p.531-537, 2000.

PONTELLI, C. B. et al. Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de cultura do milho em argissolo vermelho distrófico. Disponível em:
http://w3.ufsm.br/ppgcs/congressos/XIV_Reuni%e3o_Brasileira_Cuiab%e1/37.pdf. Acesso em 12 jan. 2009.

PRADO, R. DE M. A calagem e as propriedades físicas de solos tropicais: Revisão de Literatura. **Revista Biociência**, Taubaté, v.9, n.3, p.7-16, 2003.

RODRIGUES FILHO, F. S. de O.; SABINO, N. P. Adubação do algodoeiro com micronutrientes e matéria orgânica em solos de cerrado. **Bragantia**, Campinas, v. 43, n. 2, p. 347-356, 1984.

ROSOLEM, C. A. et al. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.41, n.6, p.1033-1040, 2006.

SHEN, M. X. et al. Long-term effects of fertilizer managements on crop yields and organic carbon storage of a typical rice–wheat agroecosystem of China. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 44, p.187–200, 2007.

SILVA, A. C.; TORRADO, P. V.; ABREU JUNIOR, J. de S. **Métodos de quantificação da matéria orgânica do solo**. R. Un. Alfenas, v.5, p.21-26,1999.

SILVA, D. J.; ARAÚJO, C. A. de S. Agricultura irrigada: a importância da adubação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife: SBCS, 2005. 1 CD-ROM.

SILVA, M. A. C. da. Et al. Aplicação superficial de calcário em pomar de laranja pêra em produção. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 606-612, 2007.

SILVA, N. M. da. Et al. Efeitos do calcário e do gesso nas características químicas do solo e na cultura do algodão. **Bragantia**, Campinas, v. 56, n. 2, 1997.

SOUZA, Z. M. de.; ALVES, M. C. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo vermelho de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Acta Scientiarum: Agronomy**. Maringá, v. 25, n. 1, p. 27-34, 2003.

TISSI, J. A.; CAIRES, E. F.; PAULETTI, V. Efeitos da calagem em semeadura direta de milho. **Bragantia**, Campinas, v.63, n.3, p.405-413, 2004.

YANG, S. M. et al. Long-term effects of manure and fertilization on soil organic matter and quality parameters of a calcareous soil in NW China. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, New York, v. 170, n. 2, p. 234-243, 2007.

CAPÍTULO II

**TEORES TOTAIS DE METAIS PESADOS EM SOLOS
CULTIVADOS COM VIDEIRA**

RESUMO

A determinação do teor total de metais pesados no solo tem por objetivo a obtenção de dados sobre o acúmulo destes elementos ao longo do tempo em função, principalmente, de práticas agrícolas. O objetivo do presente trabalho foi verificar os teores totais de metais pesados (Cu, Zn, Fe, Mn, Ni, Pb e Cd) acumulados com o tempo de cultivo e correlacionar esses totais dos metais com a matéria orgânica do solo e o fósforo disponível. Foram selecionadas oito áreas com videira em diferentes tempos de cultivo (5, 6, 8, 10, 12, 15 e 16 anos). Áreas adjacentes de caatinga foram utilizadas como referência. Foram determinados os teores totais de metais pesados em amostras de solos coletadas nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm. As análises de laboratório foram efetuadas em três repetições. Os resultados foram analisados aplicando o teste F, correlação e Teste de Tukey. Pode-se concluir que os altos teores de Cu e Zn na maioria das áreas cultivadas, se deve a influência antrópica. Os teores totais dos metais pesados Mn, Ni, Fe, Cd e Pb encontrados nas áreas de cultivo devem ser atribuídos ao material de origem, em decorrência dos valores semelhantes aos das áreas de referência. Os teores totais dos metais pesados Cu, Zn, Mn, Ni, Fe e Pb não atingiram os níveis de intervenção agrícola de acordo com a CETESB (2005). Os teores totais de Cd foram superiores ao limite de intervenção estabelecido pela CETESB (2005), no entanto, não há indicação que estes teores decorram de influência antrópica.

Palavras-chave: Concentração de referência; fertilizantes, elementos traço.

ABSTRACT

HEAVY METALS CONCENTRATION IN VINEYARD SOILS

The determination of heavy metals in soils allows to understand the accumulation process of such elements as a function of cultivation time span and agricultural practices. The work was carried out to determine the total concentration of heavy metals (Cu, Zn, Fe, Mn, Ni, Pb, and Cd) in vineyards soils as well as to correlate these concentrations with soil characteristics such as organic matter and available phosphorus. Were selected eight grape farms posing different cultivation time spans (5, 6, 8, 10, 12, 15 and 16 years) as well as in Caatinga areas which were taken as a reference. The heavy metal concentrations were determined in soil samples (0-20 and 20-40 soil depths). The results analyzed using the F test, correlation and Tukey's test. The results showed that Cu and Zn concentrations for the majority of the areas are due to human influence while Mn, Ni, Fe, Cd and Pb concentrations are attributable to parent material areas since they present values similar to the reference areas. The total concentration of the metals Cu, Zn, Mn, Ni, Fe and Pb are within the regulatory guidelines used in Brazil. On the other hand, the Cd concentration is above the regulatory level, although there is no indication that it is due to human influence.

Key words: Background concentrations; fertilizers; trace elements.

1. INTRODUÇÃO

No início da civilização, o homem exercia pequena influência sobre seu ambiente, mas, ao dominar as técnicas agrícolas e de produção industrial, proporcionou uma melhor qualidade de vida e aumentou sua dependência tecnológica, gerando diversos impactos ambientais. Os impactos da poluição podem ser imediatos devido à liberação de uma grande quantidade de poluentes no ambiente, com uma recuperação lenta e gradual, ou cumulativa, resultante da acumulação de poluentes depositados durante anos ou décadas (MELO, 2006).

Os metais pesados podem ser definidos como elementos com densidade atômica maior do que 6 g cm^{-3} (ALLOWAY, 1990). Entre os metais pesados, alguns são essenciais à vida dos organismos, como, por exemplo, cobre, zinco, ferro, manganês e níquel, enquanto outros não tem função biológica, como chumbo e cádmio. Os metais essenciais em grandes concentrações na solução do solo podem alcançar níveis tóxicos às plantas e aos organismos. No entanto, os não essenciais, podem provocar efeitos deletérios mesmo em baixas concentrações nas plantas (CARNEIRO et al., 2001).

Os solos naturalmente possuem metais pesados em concentrações variadas, dependendo dos materiais de origem sobre os quais se formaram dos processos de gênese e da composição e proporção dos componentes da fase sólida do solo (FADIGAS, 2002; CAMARGO et al., 2001).

As atividades antrópicas podem afetar a concentração de metais pesados no solo. A água de irrigação, a aplicação de fertilizantes e o uso de defensivos agrícolas podem contribuir para a contaminação dos solos com metais pesados, assim como esgotos e dejetos de origem industrial e residencial (NICHOLSON et al., 2003).

Com o tempo, o uso agrícola pode levar à contaminação do solo por metais pesados, de modo específico o cobre nas áreas sob vinhedo (PARAT et al., 2002; CHAIGNON; HINSINGER, 2003). Os efeitos dessa contaminação refletem-se na própria agricultura, incluindo fitotoxicidade por altas concentrações, na manutenção dos processos microbiológicos e na transferência de elementos em níveis tóxicos ao homem e aos animais (NICHOLSON et al., 2003).

O conhecimento dos atributos do solo torna-se fundamental para a predição

do teor máximo de metais pesados que este possa reter (BORGES; COUTINHO, 2004). Pode-se estimar através deste, o limite de acúmulo do metal decorrente das atividades antropogênicas, evitando que as concentrações se tornem elevadas a ponto de causar risco potencial à saúde humana (OLIVEIRA, 2002).

Kumpiene et al. (2007) ressaltam que os problemas causados pelo excesso de metais pesados dependem da quantidade e das formas químicas em que ocorrem nos solos. Portanto, o teor total de metais pesados no solo não é um bom parâmetro para prever a biodisponibilidade. A determinação do teor total de metais pesados no solo tem por objetivo a obtenção de dados sobre o acúmulo destes elementos ao longo do tempo em função principalmente de práticas agrícolas (RAMOS, 2006).

Como o solo é formado por diferentes componentes, a concentração total de qualquer micronutriente ou metal pesado poderá estar dispersa e distribuída entre esses componentes ou “pools” e ligados a eles por meio de ligações fracas ou com alta energia. De acordo com Shuman (1991), os micronutrientes e metais pesados estão associados principalmente: à solução do solo; à superfície inorgânica (troca iônica e adsorção específica); à matéria orgânica; aos óxidos; e aos minerais primários e secundários.

A contaminação dos solos de vinhedos por metais pesados, e especialmente por Cu, é extremamente preocupante (MIHALJEVIC et al., 2006), devido as maciças aplicações de defensivos agrícolas na busca do controle das doenças da videira, tais como míldio causada por *Plasmopora viticola*. Diferentes fungicidas, especialmente a base de Cu, têm sido aplicados extensivamente aos vinhedos.

Percebe-se que estudos devem ser promovidos para averiguação do grau de contaminação por metais pesados dos solos de vinhedos do Vale São Francisco e que essas pesquisas não devem concentrar-se somente na verificação dos efeitos provenientes do acúmulo de Cu nesses solos e sim, também, dos demais metais com potenciais de contaminação.

Portanto, em virtude da importância da cultura da videira para a região Nordeste, do crescimento das áreas exploradas e do uso cada vez mais intensivo de tecnologia, este trabalho teve como objetivo verificar os teores totais de metais pesados (Cu, Zn, Fe, Mn, Ni, Pb e Cd) acumulados com o tempo de cultivo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local da coleta

Os solos utilizados para análises foram oriundos de áreas cultivadas com videira, localizados no município de Petrolina-PE. As coordenadas geográficas, tempos de cultivo e classificação dos solos de cada uma das áreas encontram-se na (Tabela 1).

Tabela 1. Identificação das áreas, coordenadas geográficas, tempos de cultivo e classificação dos solos dos vinhedos utilizados para coleta de solos em Petrolina-PE

Áreas de Coleta	Coordenadas	Tempos de Cultivo (TC)-(Anos)	Classificação dos Solos
Colinas do Vale	S 09° 27' 082" W 40° 36' 004"	5	Neossolo Quartzarênico
EMBRAPA	S 09° 08' 185" W 40° 18' 583"	6	Argissolo Amarelo Eutrófico plintico
Vale das Uvas	S 09° 20' 107" W 40° 22' 053"	8	Neossolo Quartzarênico
Fazenda Andorinha	S 09° 26' 915" W 40° 37' 016"	10	Neossolo Quartzarênico
Frutex	S 09° 19' 931" W 40° 27' 206"	12	Neossolo Quartzarênico
Bebedouro 1	S 09° 06' 619" W 40° 19' 471"	15	Argissolo Amarelo Eutrófico plintico
Fruit Fort	S 09° 22' 887" W 40° 34' 241"	16	Neossolo Quartzarênico
Bebedouro 2	S 09° 06' 581" W 40° 19' 447"	30	Argissolo Amarelo Eutrófico plintico

2.2 Coleta das amostras de solo

As amostras de solos foram coletadas em vinhedos com diferentes tempos de cultivo (5, 6, 8, 10, 12, 15, 16 e 30 anos), em dois ambientes distintos: área cultivada (AC - linha de plantio) e área de referência - caatinga (AR - vizinhas aos vinhedos, sem interferência antrópica) em duas profundidades de 0-20 e 20-40 cm. Análises químicas e físicas das áreas sob cultivo são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização química e física das amostras de solo das áreas de vinhedo em Petrolina-PE

Características	Vinhedos (Tempos de Cultivo)							
	5	6	8	10	12	15	16	30
pH	7,26	5,98	7,13	6,35	6,74	6,33	6,71	6,50
P (mg dm ⁻³)	1035,05	238,31	378,73	535,59	374,87	76,98	290,34	248,36
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,27	0,26	0,30	0,23	0,49	0,44	0,18	0,46
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	4,67	3,52	6,05	4,10	5,02	2,55	4,12	3,28
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,32	1,00	1,73	1,60	1,52	1,13	1,68	1,08
Al ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,05	0,13	0,00	0,08	0,07	0,07	0,07	0,05
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	0,69	0,85	0,93	1,79	1,02	1,29	0,96	1,07
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,28	0,24	0,27	0,31	0,31	0,24	0,20	0,29
C.O. (g kg ⁻¹)	9,15	10,23	10,47	13,32	10,05	6,41	9,84	7,34
M.O. (g kg ⁻¹)	15,77	17,63	18,05	22,96	17,32	11,05	16,97	12,66
Cu (mg kg ⁻¹)	20,59	10,64	37,85	18,58	19,70	3,15	20,69	3,59
Zn (mg kg ⁻¹)	29,08	36,21	54,72	75,82	82,58	47,91	161,83	44,05
Fe (mg kg ⁻¹)	1939,50	5725,50	5469,17	2413,33	4915,50	5555,00	4058,33	5695,00
Mn (mg kg ⁻¹)	112,58	132,09	126,97	143,99	145,22	137,68	126,71	130,03
Cd (mg kg ⁻¹)	0,00	0,00	1,33	0,00	0,80	6,43	8,28	2,65
Ni (mg kg ⁻¹)	3,01	0,78	2,77	6,85	8,97	0,00	0,00	0,00
Pb (mg kg ⁻¹)	52,61	40,80	12,97	45,77	9,57	7,07	5,69	25,51
CTC _{efetiva} (cmol _c dm ⁻³)	6,59	5,15	8,36	6,32	7,40	4,43	6,25	5,17
CTC _{total} (cmol _c dm ⁻³)	7,22	5,87	9,29	8,03	8,35	5,66	7,14	6,19
SB (cmol _c dm ⁻³)	6,54	5,02	8,36	6,24	7,34	4,36	6,18	5,12
V (%)	90,40	84,67	89,84	77,90	87,76	77,47	86,68	82,68
m (%)	0,77	2,43	0,00	1,34	0,93	1,51	1,06	0,97
Areia (%)	89,10	88,10	80,10	75,10	76,60	87,10	83,10	86,60
Silte (%)	4,00	5,00	9,00	10,00	10,50	5,00	5,00	5,50
Argila (%)	6,90	6,90	10,90	14,90	12,90	7,90	11,90	7,90

5= Colinas do Vale; 6= Embrapa; 8= Vale das Uvas; 10= Fazenda Andorinha; 12= Frutex; 15= Bebedouro1; 16= Fruit Fort e 30= Bebedouro 2. Análises químicas P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al²⁺, H+Al e Na⁺ de acordo com (Embrapa, 1999); granulometria (Embrapa, 1997).

Foram coletadas três amostras compostas de cada vinhedo. Para coleta das amostras, a área cultivada foi dividida em três parcelas iguais. De cada parcela, foram amostrados vinte pontos escolhidos aleatoriamente nas linhas de cultivo para formação de uma amostra composta. Na área de caatinga, dada sua homogeneidade, foi coletada apenas uma amostra composta, porém a mesma foi analisada em triplicata.

As amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente etiquetados, lacrados, embalados e armazenados em temperatura ambiente até serem transportados para UFRPE e se procederem às análises de metais pesados.

2.3 Determinação dos teores totais dos metais Cu, Fe, Zn, Mn, Cd, Ni, e Pb nas amostras de solo

Um grama de solo seco ao ar foi aquecido a 250°C em béquer de teflon contendo 10 mL de HNO₃ concentrado e evaporado para um pequeno volume. Em seguida, foram adicionados 5 mL de HNO₃ concentrado, 5 mL de HClO₄ 70% e 10 mL de HF concentrado, com contínuo aquecimento até surgimento de fumos de perclorato. Após 30 minutos, foram adicionados 10 mL de HCl e a mistura fervida por 10 min, esfriada e diluída para 50 mL com água destilada em balão volumétrico (URE, 1990). Os teores totais de metais pesados foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica AA 6800 da Shimadzu.

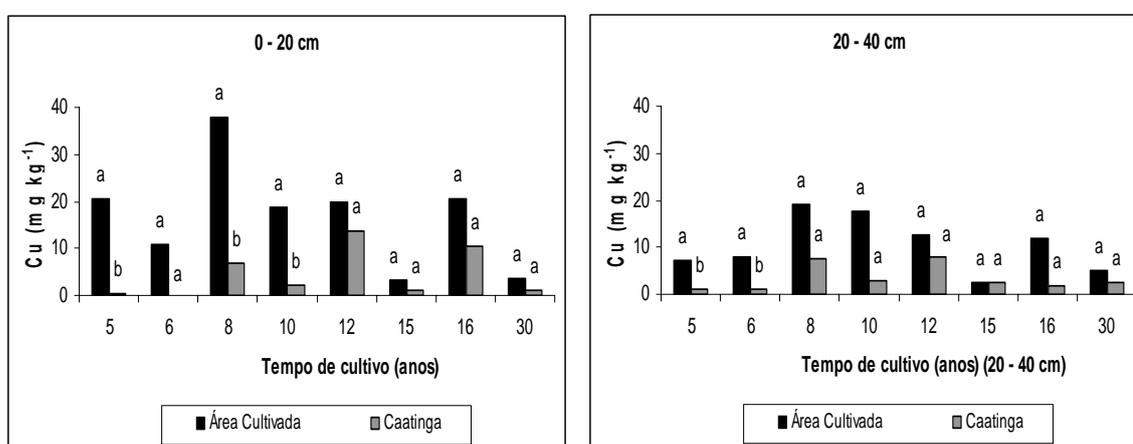
2.4 Análise Estatística

As análises de laboratório foram efetuado em arranjo fatorial 8 x 2 x 2 (oito tempos de cultivo, dois ambientes, duas profundidades) com três repetições, totalizando 96 unidades experimentais. Os resultados experimentais foram analisados com a aplicação do teste F à análise de variância e por meio de análises de correlação e Teste de Tukey (P<0,05), utilizando o software *Statistical Analysis System* (SAS, 1999).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os níveis de Cu no solo variaram de 3,15 a 37,85 mg kg⁻¹ e de 2,55 a 19,03 mg kg⁻¹ nas profundidades de 0-20 e 20-40cm, respectivamente, nas áreas cultivadas, enquanto na caatinga esses valores foram de 0 a 13,7 mg kg⁻¹ e 0,91 a 7,80 mg kg⁻¹ nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente (Figura 1). Diferenças significativas, em relação à respectiva AR, foram observadas apenas para as áreas com 5, 8 e 10 anos de cultivo na profundidade de 0-20 cm, ao passo que na profundidade de 20-40 cm, apenas as áreas com 5 e 6 anos de cultivo apresentaram diferenças.

Os maiores teores de Cu foram encontrados nas áreas com 5, 6, 8, 10, 12 e 16 anos de cultivo, onde a produção de uva destina-se a exportação, o que sugere a utilização de níveis mais altos de insumos. Exceção para as áreas com 15 e 30 anos de cultivos, que apresentaram as menores concentrações desse metal em ambas as profundidades em relação às demais áreas cultivadas, devido provavelmente a menor utilização de fertilizantes e pesticidas, pelo fato de ser uma pequena propriedade, cuja produção é comercializada apenas no mercado interno.



Medias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Figura 1. Médias dos teores totais de cobre (Cu) nas áreas cultivadas (AC) e caatinga (AR) em duas profundidades, em função dos tempos de cultivo (TC).

Os maiores teores de Cu foram encontrados na superfície e diminuíram com a profundidade (Figura 1). Esse resultado foi relatado por outros autores (PIETRZAK; McPHAIL, 2004; MIRLEAN et al., 2007; KOMÁREK et al., 2008) e indica a baixa mobilidade desse metal no perfil do solo, provavelmente devido à interação com a

matéria orgânica. Cobre é principalmente associado com a matéria orgânica do solo (NASCIMENTO; FONTES, 2004; KOMÁREK et al., 2008) através de complexos de esfera interna, resultando em menor fitotoxicidade de Cu quando comparado ao Cu^{2+} livre (KOMÁREK et al., 2008).

O incremento dos teores de Cu nos solos de vinhedo está associado ao uso de diferentes fungicidas, especialmente aqueles a base de Cu. A aplicação destes pesticidas, incluindo a calda bordalesa ($\text{CuSO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2$); $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$; Cu_2O ; $\text{Cu}(\text{OH})_2$ e $\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$, tem resultado no aumento das concentrações de Cu nos solos de vinhedos (KOMÁREK et al., 2008). Em solos de cultivo mais jovens, a concentração total de Cu diminui mais rapidamente com o aumento da profundidade do que nos solos sob cultivos mais antigos (Figura 1). Esse resultado também foi observado por (PIETRZAK; McPHAIL, 2004). Komárek et al. (2008) sugerem que o Cu derivado da ação antropogênicas em solos de vinhedo é retido predominantemente nas camadas superficiais.

A interação do Cu com a matéria orgânica do solo pode ser demonstrada através das correlações significativas encontradas na área cultivada em ambas as profundidades ($r=0,55^{**}$ e $0,45^*$, respectivamente) (Tabela 3). Vale salientar, porém, que a diferença de comportamento para a relação de Cu e matéria orgânica entre área cultivada e área de caatinga, que foi positiva para AC e negativa para AR (Tabela 3). A correlação positiva indica que, à medida que houve incrementos significativos do teor de matéria orgânica do solo com os anos de cultivo, o teor total de Cu aumentou. Como sugere Ramos (2006), a relação positiva entre Cu e matéria orgânica indica que matéria orgânica é o principal reservatório de Cu nesses solos. Nesse caso, o Cu está adsorvido mais especificamente a matéria orgânica, ou seja, com a formação de complexos de esfera interna. Esse fato pode ser corroborado pela falta de correlação entre Cu e Fe na área cultivada (Tabela 3), o que sugere que a ligação de Cu a óxidos de Fe não é tão expressiva quanto a sua ligação a matéria orgânica. Estudos em solos agrícolas demonstram que, em média, mais de 90% de todo o Cu adicionado ao sistema solo é ligado a matéria orgânica do solo (LOFTS; TIPPING, 1998; WENG et al., 2001). Por outro lado, o menor teor de matéria orgânica nos solos de caatinga pode justificar a relação negativa com o teor total de Cu no solo ($r= -0,40^*$). Nesse caso, provavelmente, o Cu está presente em

Tabela 3. Coeficientes de correlação linear de Pearson entre os teores totais de metais do solo da área cultivada (AC) e caatinga (AR)

Áreas		Cu	Zn	Mn	Ni	Cd	Fe	Pb
		-----mg dm ⁻³ -----						
Profundidade 0-20 cm								
MO	AC	0,55**	0,33 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,54**	-0,39 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	0,31 ^{ns}
(g kg ⁻¹)	AR	-0,40*	0,48*	0,70**	-0,34 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,49*	-0,27 ^{ns}
P	AC	0,39 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	0,35 ^{ns}	-0,50**	-0,60**	0,65**
(mg dm ⁻³)	AR	0,65**	0,31 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,10 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	0,20 ^{ns}	-0,22 ^{ns}
Cu	AC	-	0,28 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,34 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,06 ^{ns}
	AR	-	0,37 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,42*	-0,52**
Zn	AC	-	-	0,22 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,61**	0,00 ^{ns}	-0,48*
	AR	-	-	0,77**	-0,30 ^{ns}	0,74**	0,86**	-0,73**
Mn	AC	-	-	-	0,30 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,55**	-0,14 ^{ns}
	AR	-	-	-	-0,25 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,65**	-0,44*
Ni	AC	-	-	-	-	-0,53**	-0,27 ^{ns}	0,14 ^{ns}
	AR	-	-	-	-	-0,35 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Cd	AC	-	-	-	-	-	0,20 ^{ns}	-0,68**
	AR	-	-	-	-	-	0,73**	-0,71**
Fe	AC	-	-	-	-	-	-	-0,44*
	AR	-	-	-	-	-	-	-0,94**
Pb	AC	-	-	-	-	-	-	-
	AR	-	-	-	-	-	-	-
Profundidade 20-40 cm								
MO	AC	0,45*	0,13 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,10 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	0,34 ^{ns}
(g kg ⁻¹)	AR	-0,32 ^{ns}	0,65**	0,57**	-0,34 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,50**	-0,15 ^{ns}
P	AC	0,27 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,26 ^{ns}	-0,31 ^{ns}	-0,39 ^{ns}	0,48*
(mg dm ⁻³)	AR	0,63**	-0,05 ^{ns}	0,49*	0,09 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,17 ^{ns}
Cu	AC	-	0,38 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,51**	-0,29 ^{ns}	-0,34 ^{ns}	0,11 ^{ns}
	AR	-	-0,11 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,45*	-0,25 ^{ns}	0,17 ^{ns}	-0,27 ^{ns}
Zn	AC	-	-	0,34 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,60**	-0,04 ^{ns}	-0,41*
	AR	-	-	0,64**	-0,50**	0,79**	0,84**	-0,69**
Mn	AC	-	-	0,34 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,60**	-0,04 ^{ns}	-0,41*
	AR	-	-	-	-0,21 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,52**	-0,36 ^{ns}
Ni	AC	-	-	-	-	-0,59**	-0,34 ^{ns}	0,06 ^{ns}
	AR	-	-	-	-	-0,43*	-0,12 ^{ns}	0,06 ^{ns}
Cd	AC	-	-	-	-	-	0,33 ^{ns}	-0,62**
	AR	-	-	-	-	-	0,74**	-0,75**
Fe	AC	-	-	-	-	-	-	-0,46*
	AR	-	-	-	-	-	-	-0,86**
Pb	AC	-	-	-	-	-	-	-
	AR	-	-	-	-	-	-	-

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

* Significativo a 5% e probabilidade pelo teste F

^{ns} Não significativo

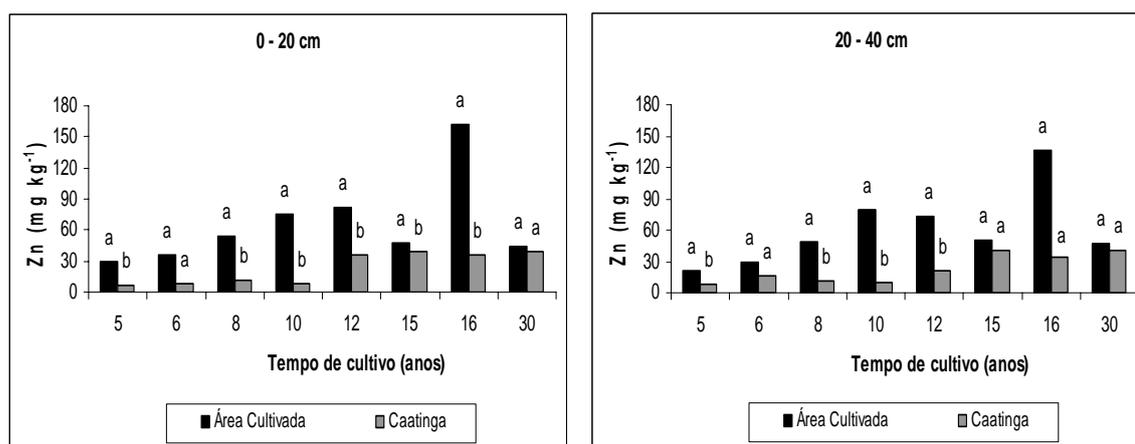
outras formas no solo, como solúvel, trocável ou ligado a óxido de Fe, como pode ser demonstrado pela correlação positiva entre Cu e Fe ($r=0,42^*$) na caatinga à profundidade de 0-20 cm. Mirlean et al. (2007) verificaram concentrações de Cu, extremamente altas excedendo 3000 mg kg⁻¹, na superfície de solos de vinhedos de Bento Gonçalves superando significativamente o valor máximo de 1500 mg kg⁻¹ relatado na literatura, encontrado em solos de vinhedo na França por Flores-Veles et al. (1996). Os autores consideram o clima e a aplicação de elevados volumes de fungicidas como um fator crucial para a alta contaminação por Cu em solos de

vinhedos. A precipitação média anual na região de Bento Gonçalves é próxima a 2000 mm ano⁻¹, com 120 dias de chuva igualmente distribuídos durante todo o ano. Por exemplo, durante o período vegetativo, chove todos os 30 dias do mês em média (MIRLEAN et al., 2007). Isto força o uso mais freqüente da calda-bordalesa para diminuir o ataque do míldio pulverulento da videira. Pelo menos 60 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de sulfato de Cu é aplicado, quantidade 2 a 4 vezes maior que as aplicadas em outras áreas de cultivo do mundo (PIETRZAK; MCPHAIL, 2004). Em anos especialmente úmidos (efeito El Niño), a aplicação de pesticidas nos vinhedos aumenta.

Komárek et al. (2008) encontraram concentrações elevadas de Cu (168 mg Cu kg⁻¹) em solo de vinhedo não ativo na República Tcheca. Tal concentração excedeu até mesmo os limites críticos fixados pela Comissão Européia (140 mg Cu kg⁻¹). Entre os vinhedos em uso, um do Praga teve a maior concentração de Cu (114 mg kg⁻¹). Diversos autores encontraram concentrações de Cu semelhante, em solos de vinhedo de outros países (CHAIGON et al., 2003; PIETRZAK; MACPHAIL, 2004; RUSJAN et al., 2007).

As concentrações de Cu observadas no presente trabalho mostram-se bem menores que as verificadas por Mirlean et al., (2007), Flores-Veles et al. (1996) e Komárek et al. (2008). Ao contrário da região de Bento Gonçalves, localizada na região Sul do Brasil, o Submédio São Francisco, localizado no Nordeste, possui clima predominantemente semi-árido, caracterizado pela escassez e irregularidade das precipitações, com chuvas no verão e forte evaporação em consequência das altas temperaturas. Este fato faz com que a proliferação de doenças fúngicas nas áreas de cultivo de videira seja consideravelmente menor, dessa forma, a necessidade de aplicação de fungicidas cúpricos, também é reduzida e, conseqüentemente, a concentração de Cu nos solos de vinhedos dessa região. Estreita relação foi relatada entre o conteúdo máximo de Cu nos solos de vinhedos de diversos países e a precipitação local dos mesmos, de maneira que, aqueles que apresentam alta precipitação têm os maiores registros de conteúdos de Cu em seus solos e vice-versa (MIRLEAN et al., 2007). Alta umidade e chuvas demandam mais freqüentes aplicações de fungicidas cúpricos que contribuem definitivamente para a contaminação ambiental.

Os níveis de Zn no solo variaram de 29,08 a 161,83 mg kg⁻¹ e de 20,42 a 136,31 mg kg⁻¹ nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente, nas áreas cultivadas, enquanto na caatinga esses valores foram de 5,89 a 39,23 mg kg⁻¹ e 8,12 a 40,12 mg kg⁻¹, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente (Figura 2). De maneira geral, na profundidade de 0-20 cm foi observada diferença significativa entre as áreas cultivadas e caatinga. No entanto, para a profundidade de 20-40 cm, somente as áreas com 5, 8, 10 e 12 anos apresentaram diferença significativa.



Medias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

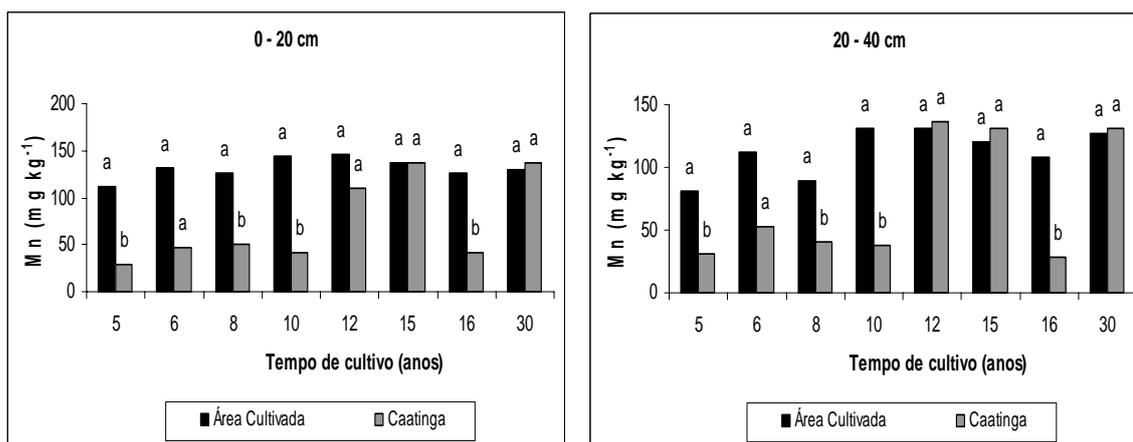
Figura 2. Médias dos teores totais de zinco (Zn) nas áreas cultivadas (AC) e caatinga (AR), em duas profundidades, em função dos tempos de cultivo (TC).

Para Zn, foi observada tendência semelhante a do Cu, os maiores teores foram encontrados na superfície e diminuíram com a profundidade (Figura 2). Em pH alto, o Zn é adsorvido em grandes quantidades nas partículas superficiais do solo, pois o mesmo é altamente influenciado pelo pH (WEINGERL; KERIN, 2000). O aumento considerável nos teores totais de Zn nas áreas cultivadas, quando comparados aos teores das áreas de caatinga (Figura 2), supõe influência antrópica na adição deste metal aos solos, da mesma forma que foi observado para o Cu (Figura 1). A concentração de zinco em solos cultivados aumenta anualmente de 0,5 a 1 mg kg⁻¹ devido ao uso de fungicidas e fertilizantes que contêm zinco (WEINGERL; KERIN, 2000).

Na caatinga, as altas correlações verificadas entre o total de Zn, teor de MO, Fe e Mn (Tabela 3), indicam a elevada afinidade de Zn pelos sítios de adsorção da matéria orgânica e dos óxidos de Fe e Mn. Para a área cultivada, apesar do incremento do teor total de Zn no solo entre os anos de cultivo, nenhuma relação foi

observada entre Zn, Fe, Mn e MO do solo (Tabela 3).

Os níveis de Mn no solo variaram de 112,58 a 145,22 mg kg⁻¹ e de 80,52 a 131,44 mg kg⁻¹ nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente, nas áreas cultivadas, enquanto na caatinga esses valores foram de 29,60 a 137,02 mg kg⁻¹ e 28,58 a 136,33 mg kg⁻¹, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm respectivamente (Figura 3).



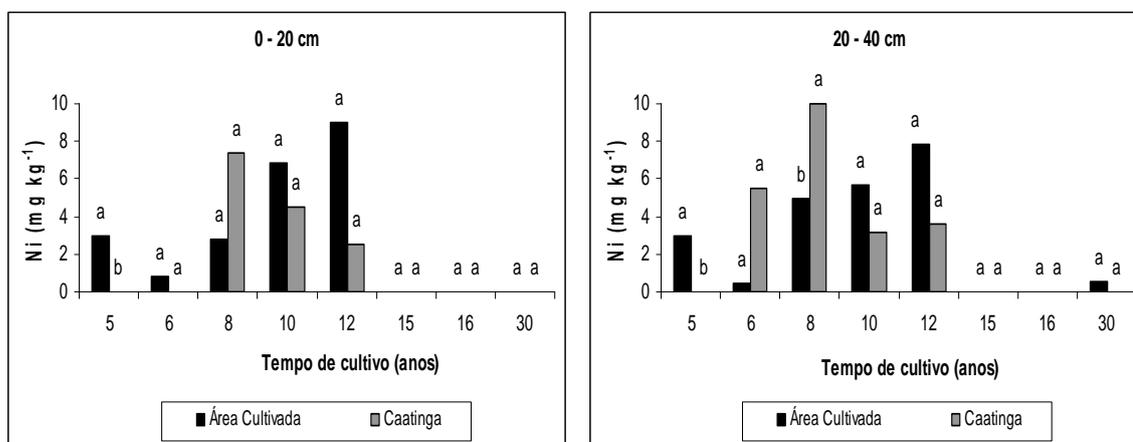
Medias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Figura 3. Médias dos teores totais de manganês (Mn) nas áreas cultivadas (AC) e caatinga (AR), em duas profundidades, em função dos tempos de cultivo (TC).

Os teores totais de Mn no referido trabalho superaram os obtidos por Oliveira; Nascimento (2006), que encontraram valores máximos em solos de Petrolina-PE de 70,5 mg dm⁻³ na camada superficial e 50,7 mg dm⁻³ na camada subsuperficial. No entanto, analisando os solos de referência do Sertão de Pernambuco, de maneira geral, foram encontrados valores superiores a 900 e 400 mg dm⁻³ na camada superficial e subsuperficial, respectivamente. Foi verificada diferença significativa nas áreas com TC de 5, 8, 10 e 16 anos para as duas profundidades analisadas (Figura 3), sendo os maiores valores observados na área cultivada. Esse aumento significativo dos teores totais de Mn no solo nestas áreas cultivadas pode ser atribuído ao manejo empregado no cultivo do vinhedo. Quando se coloca um metal pesado no solo pela adição de um resíduo, de um agroquímico ou simplesmente pela deposição atmosférica, se esse metal não for removido do ambiente por lixiviação ou pela remoção pelas culturas, seu teor no solo tende a aumentar (REVOREDO; MELO, 2006). Nas áreas com 12, 15 e 30 anos de cultivo em ambas as profundidades (Figura 3), os teores totais de Mn devem ser considerados como

de influência natural da geoquímica da região, não se evidenciando a presença de fontes poluidoras (PEREIRA; KAWAMOTO 2009), uma vez que não foram encontradas alterações significativas nos teores entre área cultivada e área de caatinga respectiva.

Os níveis de Ni no solo variaram de 0,00 a 8,97 mg kg⁻¹ e de 0,00 a 7,82 mg kg⁻¹ nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente, nas áreas cultivadas, enquanto na caatinga esses valores foram de 0,00 a 7,40 mg kg⁻¹ e 0,00 a 10,00 mg kg⁻¹, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente (Figura 4).



Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

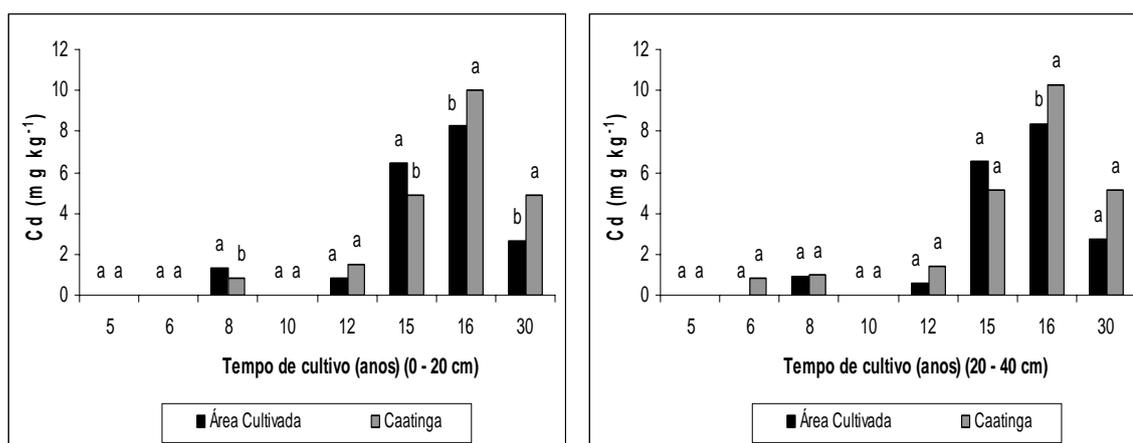
Figura 4. Médias dos teores totais de níquel (Ni) nas áreas cultivadas (AC) e caatinga (AR) em duas profundidades, em função dos tempos de cultivo (TC).

O estado do Ni nos solos é altamente dependente do conteúdo no material de origem, sendo que em regiões áridas e semi-áridas, o conteúdo deste elemento nos solos é alto, portanto, a concentração do Ni na superfície do solo reflete os processos de formação e também poluição do solo (KABATA- PENDIAS; PENDIAS, 2001). A área com 5 anos de cultivo, na profundidade de 0-20 cm, foi a única que diferiu estatisticamente, apresentando aumento significativo do teor total de Ni com o cultivo dessa área em relação a caatinga (Figura 4). No entanto, para a profundidade de 20-40 cm, apenas as áreas com 5 e 8 anos de cultivo apresentaram diferença significativa, tendo o teor de Ni na área com 5 anos de cultivo aumentado e, na área com 8 anos de cultivo, diminuído em relação a área de referência. O maior teor de Ni na área de caatinga, referente a 8 anos de cultivo, pode indicar a contribuição do material de origem desse solo. A remoção pelas culturas ou ainda a lixiviação para camadas mais profundas no perfil do solo pode justificar a redução do

teor de Ni nessa área cultivada. Depois do Cd, o Ni é o metal pesado mais móvel no solo (ANTONIADIS; TSADILAS, 2007).

O teor total de níquel apresentou correlação positiva altamente significativa com o teor de matéria orgânica do solo na área cultivada de 0-20 cm ($r=0,54^{**}$) (Tabela 3). Essa correlação indica que o aporte de matéria orgânica na superfície do solo com o cultivo contribuiu para a retenção de Ni no solo. Níquel, como outros metais pesados, formam complexos com vários constituintes orgânicos do solo (MELLIS et al., 2004). Segundo Egreja Filho (2000), de maneira geral, nos solos, 50% do Ni está na fração residual (todas as frações subtraídas do teor total), 20% ligado aos óxidos de Fe e Mn e o restante distribuído nas demais frações, sem uma preferência explícita. Nesse trabalho, nenhuma relação foi encontrada entre Ni e óxidos de Fe e Mn (Tabela 3). Correlações negativas foram encontradas para os teores totais de Ni e Cd sugerindo uma relação competitiva entre esses cátions pelos sítios de adsorção no solo ou sua origem de minerais diferentes (Tabela 3). Antoniadis e Tsadilas (2007) verificaram que Ni foi mais fortemente ligado aos sítios de adsorção do solo quando comparado ao Cd.

Os níveis de Cd no solo variaram de 0,00 a 8,28 mg kg⁻¹ e de 0,00 a 8,32 mg kg⁻¹ nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente, nas áreas cultivadas, enquanto na caatinga esses valores foram de 0,00 a 10,01 mg kg⁻¹ e 0,00 a 10,29 mg kg⁻¹, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente (Figura 5).



Medias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

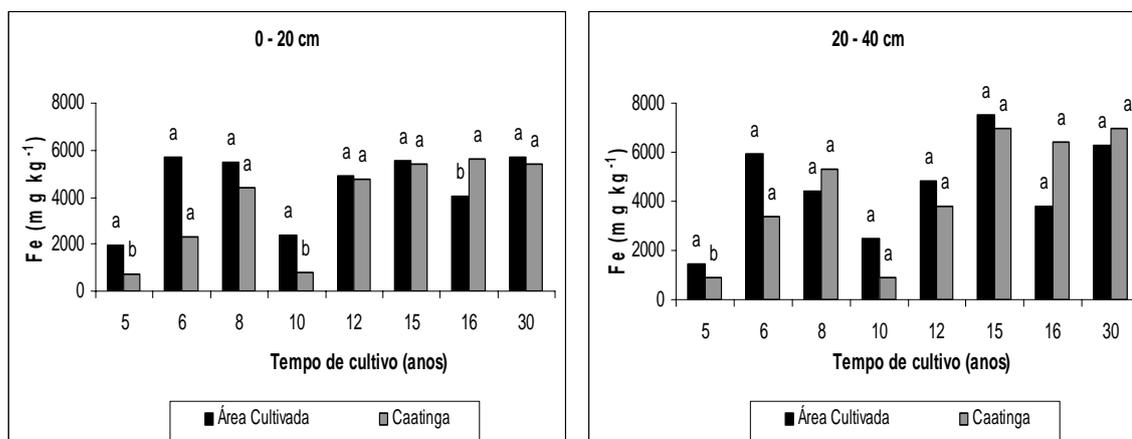
Figura 5. Médias dos teores totais de cádmio (Cd) nas áreas cultivadas (AC) e caatinga (AR) em duas profundidades, em função dos tempos de cultivo (TC).

Diferenças significativas foram verificadas nas áreas com 8, 15, 16, 30 anos

de cultivo na profundidade de 0-20 cm, enquanto para profundidade de 20-40 cm, apenas a área com 16 anos de cultivo mostrou diferenças significativas. Nas áreas com 16 e 30 anos de cultivo nas duas profundidades estudadas, o teor total de Cd na área de caatinga foi maior que na área cultivada, o que sugere a contribuição do material de origem desse solo e sua absorção pela cultura (Figura 5).

Cd não foi detectado nas áreas com 5, 6 e 10 anos de cultivo em ambas as profundidades. O mesmo ocorreu para as áreas de caatinga referentes a 5 e 10 anos (Figura 5). Esse fato corrobora a idéia de que o Cd detectado nas demais áreas é proveniente de fontes naturais, não se evidenciando a presença de fontes poluidoras (PEREIRA; KAWAMOTO, 2009).

Os níveis de Fe no solo variaram de 1939,50 a 5725,50 mg kg⁻¹ e de 1458,67 a 7543,33 mg kg⁻¹ nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente, nas áreas cultivadas, enquanto na caatinga esses valores foram de 732,17 a 5676,33 mg kg⁻¹ e 870,17 a 6978,33 mg kg⁻¹, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente (Figura 6).



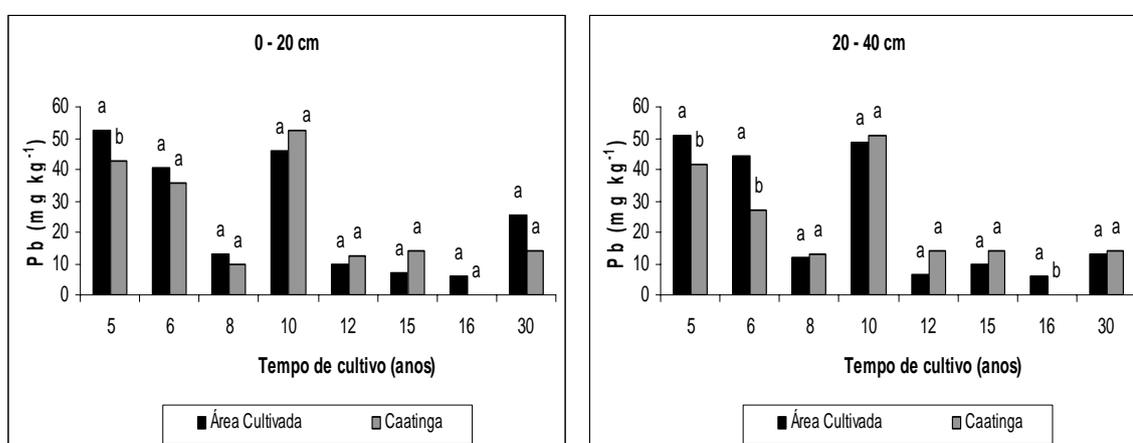
Medias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Figura 6. Médias dos teores totais de ferro (Fe) nas áreas cultivadas (AC) e caatinga (AR) em duas profundidades, em função dos tempos de cultivo (TC).

Diferenças significativas entre os teores totais de Fe nas áreas cultivadas e caatinga foram observadas apenas para áreas com 5, 10 e 16 anos de cultivo na profundidade de 0-20 cm, comportamento semelhante ao do Mn. Oliveira e Nascimento, (2006), trabalhando com solos de referência de Pernambuco, encontraram em Petrolina teor máximo de 3072,1 mg dm⁻³ na camada superficial e 971,7 mg dm⁻³ na camada subsuperficial. Em solos de referência do Sertão de

Pernambuco, foram obtidos valores superiores a 7000 mg dm^{-3} de Fe na camada superficial e superiores a 6000 mg dm^{-3} na camada subsuperficial. Esse resultado é esperado, em decorrência deste elemento ser constituinte estrutural dos óxidos. Kabata Pendias e Pendias (2001), relatam que o conteúdo de Fe nos solos é herdado das rochas de origem, como resultado de processos que ocorrem no solo.

Os níveis de Pb no solo variaram de $5,69$ a $52,61 \text{ mg kg}^{-1}$ e de $6,10$ a $50,75 \text{ mg kg}^{-1}$ nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente, nas áreas cultivadas, enquanto na caatinga esses valores foram de $0,00$ a $52,61 \text{ mg kg}^{-1}$ e $0,00$ a $50,75 \text{ mg kg}^{-1}$, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente (Figura 7).



Medias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Figura 7. Médias dos teores totais de chumbo (Pb) nas áreas cultivadas (AC) e caatinga (AR) em duas profundidades, em função dos tempos de cultivo (TC).

O teor total de Pb na área com 5 anos de cultivo diferiu significativamente da área de caatinga para a profundidade de 0-20 cm, enquanto para a profundidade de 20-40 cm, as diferenças foram notadas nas áreas com 5, 6 e 16 anos de cultivo (Figura 7). Semelhantemente a Cd, Ni, Mn e Fe em algumas áreas, altos teores de Pb foram observados tanto para a AC como para AR, o que novamente sugere a influência do material de origem desses solos nos teores totais de metais pesados.

De maneira geral, os metais apresentaram semelhanças na sua distribuição entre as profundidades, com exceção para o Cu, que permaneceu na superfície do solo. Concentrações homogêneas com a profundidade podem resultar tanto de lixiviação como de práticas agrícolas (PIETRZAK; MCPHAIL, 2004; MIRLEAN et al., 2007).

A correlação negativa entre Zn e Cd com Pb, tanto na AC como na AR em

ambas as profundidades (Tabela 3), sugere competição entre esses cátions pelos sítios de adsorção do solo. Esse fato pode ainda explicar a falta de correlação do total de Zn e Cd com o teor de matéria orgânica e de Fe. O consenso alcançado nos estudos de adsorção competitiva de metais pesados é que Pb, Cu e Cr são mais fortemente retidos, em comparação com Zn, Ni e Cd (FONTES; GOMES, 2003; LU; XU, 2008). Srivastava et al. (2005) sugerem que o Zn apresenta baixa tendência de hidrolisar, semelhantemente ao Cd, e sua adsorção envolve apenas troca iônica, enquanto a adsorção de Pb envolve principalmente hidrólise. Serrano et al. (2005), relataram forte influência que a sorção de Cd sofre com a presença simultânea de metais competidores como o Pb.

Ao contrário do Pb, a relação entre Zn e Cd foi positiva e altamente significativa tanto na área cultivada com na caatinga, em ambas as profundidades (Tabela 3), sugerindo que, ao invés de competição, houve a interação entre esses elementos. De fato, Zn e Cd têm muitas semelhanças físicas e químicas, ambos pertencem ao Grupo II da Tabela Periódica. Eles geralmente são encontrados associados aos mesmos minérios e interagem de forma semelhante no sistema biológico (NASCIMENTO et al., 1998; CUNHA et al., 2008).

Nenhuma correlação significativa foi encontrada entre o total de Pb e o teor de matéria orgânica do solo (Tabela 3). Resultados diferentes são relatados por Sipos et al. (2005), que afirmam que a maior parte do Pb se encontrava ligada à matéria orgânica em detrimento dos minerais de argila. Ao contrário desses autores, a relação do teor total de Pb com o teor de Fe foi negativa (Tabela 3). Possivelmente, o Pb está na forma de precipitados com o P, o que pode justificar a alta correlação positiva entre Pb e P no solo de áreas cultivadas em ambas as profundidades ($r=0,65^{**}$ e $0,48^*$, respectivamente). De fato, o fósforo tem sido bastante utilizado como amenizante em solos contaminados com Pb devido a forte afinidade entre esses elementos (CAO et al., 2003; PAIM et al., 2003; PIERANGELI et al., 2004; LIN et al., 2005). É importante salientar que altos teores de Pb também foram observados nas áreas de caatinga, mas esses não podem ser relacionados ao P devido à ausência de correlações entre Pb e P para essas áreas (Tabela 3). Possivelmente, o Pb quantificado nesses solos é proveniente da estrutura cristalina de aluminossilicatos, o que sugere a contribuição do material de origem. Nesse caso,

conforme indicam Pereira e Kawamoto (2009), os teores de Pb encontrados podem ser considerados como de influência natural da geoquímica da região, não se evidenciando a presença de fontes poluidoras.

É interessante ressaltar a correlação negativa e altamente significativa entre os teores de P e Fe na área cultivada, o que sugere a ligação do P aos óxidos de Fe. Altas correlações positivas também foram observadas entre os teores totais de Fe e Mn, evidenciando a associação desses elementos na estrutura dos óxidos. O Fe também apresentou correlação positiva com o teor de matéria orgânica do solo nas áreas de caatinga em ambas as profundidades (Tabela 3). De acordo com Oliveira e Nascimento (2006), os maiores teores de Fe potencialmente disponível estão ligados à matéria orgânica tanto em horizontes superficiais como subsuperficiais. Da mesma forma, os teores totais de Mn apresentaram correlações positivas e altamente significativas com o teor de matéria orgânica do solo na área de caatinga (Tabela 3). De acordo com Moreira et al. (2006), o Mn retido pela matéria orgânica pode estar associado aos grupos funcionais da mesma, na forma de complexos de esfera externa e interna.

Ao se comparar teores totais dos metais obtidos nos solos cultivados com vinhedos e os limites críticos estabelecidos pela CETESB (2005), verifica-se que algumas áreas apresentaram valores acima dos de referência de qualidade do solo, que são de 35, 60, 17, 13 e $<0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ para Cu, Zn, Pb, Ni e Cd, respectivamente. Dos metais estudados, apenas Cd apresentou teores acima do valor de intervenção agrícola nas áreas com 15, 16 e 30 anos de cultivo nas duas profundidades. Porém, esses valores não podem ser atribuídos ao manejo adotado no cultivo do vinhedo, uma vez que estiveram próximos aos teores de Cd nas respectivas áreas de caatinga (Figura 5). Nesse caso, Cd pode ser derivado do material de origem. O material de origem do solo é muito importante na delimitação da concentração dos elementos na solução do solo. O teor natural dos elementos tóxicos no solo varia muito com o tempo de intemperismo e a composição química do material de origem (CAMARGO et al., 2001).

Os teores totais de Pb, apesar de não ultrapassarem o valor de intervenção agrícola, ficaram próximos ao valor de prevenção, o que indica a importância do monitoramento dessas áreas, pois teores acima destes podem acarretar alterações

prejudiciais à qualidade das mesmas. Segundo Mendes et al. (2006), a utilização de taxas agronômicas de fertilizantes fosfatados pode não aumentar a concentração de Pb acima dos níveis naturais achados nos solos. Nas áreas com 5, 6, 10 e 30 anos de cultivo, na profundidade de 0-20 cm, e com 5, 6 e 10 anos de cultivo, na profundidade de 20-40 cm (Figura 7) os teores de Pb foram maiores que o valor de referência de qualidade. Porém, semelhantemente ao Cd, esses teores estiveram próximos aos valores das respectivas áreas de caatinga, indicando, provavelmente que são provenientes do material de origem.

Para Cu, apesar dos incrementos significativos com o tempo de cultivo, apenas a área com 8 anos de cultivo apresentou teor maior que o valor de referência de qualidade. Diferentemente de Cd e Pb, esse aumento nos teores de Cu foi observado apenas na área cultivada, em relação a área de caatinga, o que sugere interferência antrópica.

4. CONCLUSÕES

1. Os teores de Cu e Zn, na maioria das áreas cultivadas, apresentaram aumento com os anos de cultivo, o que se deve a influência antrópica;
2. Os teores totais dos metais pesados Mn, Ni, Fe, Cd e Pb encontrados nas áreas de cultivo foram semelhantes aos das áreas de referência, o que se deve atribuir esses valores ao material de origem da região;
3. Os teores totais dos metais pesados Cu, Zn, Mn, Ni, Fe e Pb não atingiram os níveis de intervenção agrícola de acordo com a CETESB (2005);
4. Os teores de Cd foram superiores ao limite de intervenção estabelecido pela CETESB (2005). No entanto, não há indicação que estes teores decorram de influência antrópica.

REFERÊNCIAS

ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. New York. John Wiley. 1990. 339p.

ANTONIADIS, V.; TSADILAS, C.D. Sorption of cadmium, nickel, and zinc in mono- and multimetal systems. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 22, p. 2375–2380, 2007.

BORGES, M.R. & COUTINHO, E.L.M. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido. I – Fracionamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.28, n.3, p. 543-555, 2004.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. ; CASAGRANDE, J.C. Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo. In: FERREIRA, M.E. et al. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: **Legis Summa**, p.89-124, 2001.

CAO, R.X. et al. Harris, W. Phosphate-induced metal immobilization in a contaminated site. **Environmental Pollution**, Essex, v.122, p.19–28, 2003.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. DE. S. Estabelecimento de plantas herbáceas em solo com contaminação de metais pesados e inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 12, p. 1443-1452, 2001.

CHAIGNON, V.; HINSINGER, P. A. Biotest for Evaluating Copper Bioavailability to Plants in a Contaminated Soil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 32, p. 824-33, 2003.

CETESB. **Decisão de diretoria Nº 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005.**

Disponível em:

<http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabelas_valores_2005.pdf>. Acesso em: 28 de dezembro de 2008.

CUNHA, K. P. V. DA; NASCIMENTO, C. W. A. Silicon effects on metal tolerance and structural changes in maize (*Zea mays* L.) grown on a cadmium and zinc enriched soil. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 164, 2008.

EGREJA FILHO, F. B. **Extração seqüencial de metais pesados em solos altamente intemperizados: utilização de componentes-modelo e planejamentos com misturas ternárias na otimização do método**. 2000. 287 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 370p, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 212p, 1997.

FADIGAS, F. DE. S. et al. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 2, 151-159, 2002.

FLORES-VELES, L.M. et al. Study of the distribution of copper in an acid sandy vineyard soil by three different methods. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.47, p.523-532, 1996.

FONTES, M. P. F. A.; GOMES, P. C. Simultaneous competitive adsorption of heavy metals by the mineral matrix of tropical soils. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 18, p. 795–804, 2003.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3rd ed. Boca Raton, CRC Press, 2001. 413p.

KOMÁREK, M. et al. Copper contamination of vineyard soils from small wine producers: A case study from the Czech Republic. **Geoderma**, Amsterdam, v.147, p. 16–22, 2008.

KUMPIENE, J.; LAGERKVIST, A.; MAURICE, C. Stabilization of Pb- and Cu-contaminated soil using coal fly ash and peat. **Environmental Pollution**, Essex, v.145, p.365-373, 2007.

LIN, C.; LIAN, J.; FANG, H. Soil lead immobilization using phosphate rock. **Water Air Soil Pollution**, Dordrecht, v.161, p.113–123, 2005.

LOFTS S.; TIPPING, E. An assemblage model for cation binding by natural particulate matter - Description of pH dependency, salt dependency, and cation-proton exchange. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.62, n. 15, 1998.

LU, S. G.; XU, Q. F. Competitive adsorption of Cd, Cu, Pb and Zn by different soils of Eastern China. **Environmental Geology**. DOI 10.1007/s00254-008-1347-4, 2008.

MELLIS, E. V.; CRUZ, M. C. P. DA.; CASAGRANDE, J. C. Nickel adsorption by soils in relation to pH, organic matter, and iron oxides. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.61, n.2, p.190-195, 2004.

MELO, E. E. C. DE.; **Fitoextração induzida de metais pesados: efeito de agentes quelantes e do tempo de contato metal-solo**. 2006, 86F. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

MENDES, A. M. S.; DUDA, G. P.; NASCIMENTO, C. W. A. DO.; SILVA, M. O. Bioavailability of cadmium and lead in a soil amended with phosphorus fertilizers. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.63, n.4, p.328-332, 2006.

MIRLEAN, N.; ROISENBERG, A.; CHIES, J. O. Metal contamination of vineyard soils in wet subtropics (southern Brazil). **Environmental Pollution**, Essex, v. 149, p. 10-17, 2007.

MIHALJEVIC, M. et al. Lead isotopic signatures of wine and vineyard soils-tracers of lead origin. J. **Geochemical Exploration**, Amsterdam, v.88, p.130–133, 2006.

MOREIRA, S. G. et al. Formas químicas, disponibilidade de manganês e produtividade de soja em solos sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 121-136, 2006.

NASCIMENTO, C. W. A., FONTES, R. L. F., NEVES, J. C. L. Mineral composition of two brazilian corn cultivars as a function of cadmium in the nutrient solution. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.21, n.11, p. 2369-2379, 1998.

NASCIMENTO, C. W. A.; FONTES, R. L. F. Correlação entre características de Latossolos e parâmetros de equações de adsorção de cobre e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, p. 965-971, 2004.

NICHOLSON, F.A. et al. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 311, p. 205-219, 2003.

OLIVEIRA, A. B. DE.; NASCIMENTO, C. W. A. DO. Formas de manganês e ferro em solos de referência de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.30, p.99-110, 2006.

OLIVEIRA, R. de C. **Avaliação do movimento de cádmio, chumbo e zinco em solo tratado com resíduo-calcário**. 2002, 85f. Dissertação (Mestrado em Nutrição Mineral de Plantas), Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PAIM, L.A. et al. Efeito do silício e do fósforo na disponibilidade de metais pesados do solo pelo extrator Mehlich-1. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.27, n.4, p. 780-787, 2003.

PARAT, C. et al. The relationship between copper accumulated in vineyard calcareous soils and soil organic matter and iron. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.53, p. 663-669, 2002.

PEREIRA, S. F. P.; KAWAMOTO, M. S. Estudo químico da concentração total de Fe, Mn, Zn e Cu presentes em sedimentos de margem da região da Volta Grande do rio Xingu – Pará. Disponível em:
<www2.ufpa.br/rrcientificatrab_premiadosartigosmsk.pdf>. Acesso em 12 jan. 2009.

PIERANGELI, M.A.P. et al. Adsorção e dessorção de cádmio, cobre e chumbo por amostras de Latossolos pré-tratadas com fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.28, n.2, p.377-384, 2004.

PIETRZAK, U.; MCPHAIL, D. C. Copper accumulation, distribution and fractionation in vineyard soils of Victoria, Australia. **Geoderma**, Amsterdam, v. 122, p. 151–166, 2004.

RAMOS, M. C. Metals in vineyard soil of the Penedès area (NE Spain) after compost application. **Journal of Environmental Management**, London, v. 78, p. 209-215, 2006.

REVOREDO, M. D.; MELO, W. J. DE. Disponibilidade de níquel em solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com sorgo. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.4, p.679-685, 2006.
RUSJAN, D. et al. Copper accumulation regarding the soil characteristics in Sub-Mediterranean vineyards of Slovenia. **Geoderma**, Amsterdam, v.141, p.111–118, 2007.

SERRANO, S. et al. Competitive sorption of cadmium and lead in acid soils of Central Spain. **Geoderma**, Amsterdam, v.124, p.91–104, 2005.

SHUMAN, L.M. Chemical forms of micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J. et al. **Micronutrientes in agriculture**. Madison: SSSA, 1991. p.113- 144.

SIPOS, P. et al. Effect of Soil Composition on Adsorption of Lead as Reflected by a Study on a Natural Forest Soil Profile. **Geoderma**, Amsterdam, v.124, p. 363-374, 2005.

SRIVASTAVA, P.; SINGH, B.; ANGOVE, M. Competitive adsorption behavior of heavy metals on kaolinite. **Journal of Colloid and Interface Science**, New York, v.290, p. 28–38, 2005.

URE, A.M. Methods of analysis for heavy metals in soils. In: ALLOWAY, B. J. (Ed.) **Heavy metals in soils**. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1990. p. 40-80.

WEINGERL, V.; KERIN, D. Distribution of zinc in vineyard areas treated with zinc containing phytopharmaceuticals. **Acta Chimica Slovenica**, Slovenia, v. 47, p. 453-467, 2000.

WENG, L.; TEMMINGHOFF, E. J. M.; RIEMSDIJK, W. H. V. Contribution of Individual Sorbents to the Control of Heavy Metal Activity in Sandy Soil. **Environmental Science & Technology**, Washington, US, v. 35, n. 22, p. 4436-4443, 2001.