



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**SÁLVIO NAPOLEÃO SOARES ARCOVERDE**

**QUALIDADE DE SOLOS SOB DIFERENTES USOS  
AGRÍCOLAS NA REGIÃO DO ENTORNO DO LAGO DE  
SOBRADINHO - BA**

**JUAZEIRO – BA  
2013**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**SÁLVIO NAPOLEÃO SOARES ARCOVERDE**

**QUALIDADE DE SOLOS SOB DIFERENTES USOS  
AGRÍCOLAS NA REGIÃO DO ENTORNO DO LAGO DE  
SOBRADINHO - BA**

Trabalho apresentado a Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Campus Juazeiro, como requisito para o título de mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. DSc. Nelci Olszewski.  
Coorientadora: DSc Alessandra Monteiro Salviano Mendes.

**JUAZEIRO – BA  
2013**

A675q Arcoverde, Sálvio Napoleão de Soares.  
Qualidade de solos sob diferentes usos agrícolas na região do entorno do lago de Sobradinho – BA / Sálvio Napoleão de Soares Arcoverde. -- Juazeiro, 2013.

71f. : il. 29 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro-BA, 2013.

Orientador (a): Prof. Dra. Nelci Olzevski.

1. Solo – Sobradinha (BA). 2. Solo – Controle de qualidade. I. Título. II. Olzevski, Nelci. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco  
CDD 630.2515

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF  
Bibliotecário: Renato Marques Alves

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

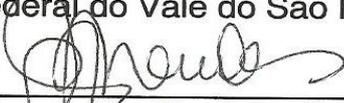
**SÁLVIO NAPOLEÃO SOARES ARCOVERDE**

**Qualidade de solos sob diferentes usos agrícolas na região do entorno do lago  
de Sobradinho - BA**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de mestre em  
Engenharia Agrícola, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.



\_\_\_\_\_  
Prof. D.Sc. Nelci Olzevski  
Universidade Federal do Vale do São Francisco (orientadora)



\_\_\_\_\_  
D.Sc. Alessandra Monteiro Salviano Mendes  
Embrapa Semiárido/UNIVASF



\_\_\_\_\_  
D.Sc. Tony Jarbas Ferreira Cunha  
Embrapa Semiárido



\_\_\_\_\_  
D.Sc. Vanderlise Giongo  
Embrapa Semiárido

Juazeiro, 28 de agosto de 2013

## DEDICATÓRIA

*Dedico esta dissertação a Deus minha família, minha orientadora, minha coorientadora e meus amigos, pelo apoio, amizade, carinho, incentivo, paciência e confiança, pois sem vocês nada disso teria sido realizado.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ter me dado força, luz e saúde durante essa caminhada.

A UNIVASF, em especial aos professores e alunos do programa, pelo incentivo, companheirismo, amizade e profissionalismo.

À EMBRAPA Semiárido, À CHESF e ao CNPQ pela concessão de recursos para realização desse trabalho.

À minha orientadora professora Nelci Olzevski pela orientação neste trabalho, colaboração, paciência, humildade, sabedoria e pelo apoio nos momentos difíceis para realização da pesquisa.

À minha coorientadora D.Sc. Alessandra Salviano Mendes pelo apoio, incentivo e colaboração em todas as etapas da pesquisa.

Aos meus companheiros de laboratório de Física do solo, em especial a Janielle pelo apoio, companheirismo e ajuda nas análises; Gilmara, Alexsandra e Hideo Nagahama pelo companheirismo e incentivo durante esta etapa.

À minha Família, base da minha vida, pelos valores de humildade, caráter e perseverança transmitidos, em especial ao meu pai, Luciano Arcoverde, que mesmo não estando mais aqui presente, sempre me apoiou e incentivou; a minha mãe, Maria Leonice, a minha irmã, Lívia Arcoverde e a minha noiva, Karola Arcoverde, pelo amor, companheirismo, apoio e carinho durante toda esta etapa da minha vida.

Aos membros da banca pela colaboração e engrandecimento desse trabalho.

Enfim, a todos que participaram de forma direta e indireta desta caminhada, sem os quais não seria possível a realização deste sonho.

## SUMÁRIO

	<b>“páginas”</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>9</b>
2.1 Bacia Hidrográfica do entorno do Lago de Sobradinho - BA.....	9
2.2 Sustentabilidade e Qualidade do solo .....	11
2.3 Indicadores de qualidade do solo .....	14
2.3.1 Indicadores de qualidade física do solo .....	15
2.3.2. Indicadores de qualidade química do solo .....	18
2.4 Estatística multivariada para avaliação da qualidade do solo .....	20
2.5 Referências Bibliográficas .....	23
<b>3 CAPÍTULO I.....</b>	<b>31</b>
<b>4 CAPÍTULO II.....</b>	<b>51</b>
<b>5 CONCLUSÃO GERAL.....</b>	<b>70</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O uso sustentável e a qualidade dos recursos naturais, especialmente do solo e da água, tem se constituído em tema de crescente relevância em razão, principalmente, do aumento das atividades antrópicas devido à necessidade de produção de alimentos para atender uma demanda cada vez maior (ARAÚJO et al., 2007). Nesse sentido, o solo tem grande importância na sustentabilidade de ecossistemas, principalmente, terrestres, por ser um sustentáculo natural e também, dinâmico; portanto sendo fonte de funções ambientais, especialmente para a produção agrícola, uma vez que funciona propiciando meio equilibrado para o desenvolvimento de plantas e suporte para animais e microorganismos e por exercer regulação do fluxo de água e nutrientes para as plantas (MAROUELLI, 2003).

Dessa forma, a qualidade do solo refere-se às condições para que este recurso funcione adequadamente e, depende da interação de processos químicos, físicos e biológicos, que mantêm um fluxo e uma natureza homogênea (TÓTOLA; CHAER, 2002). Ou seja, a qualidade do solo como indicador de sustentabilidade agrícola deve reunir propriedades físicas, químicas e biológicas capazes de se relacionar com as funções do solo e, portanto, mostrar mudanças ocorridas na qualidade deste recurso, refletindo alterações da sua condição frente ao uso da terra e sistemas de manejo (DORAN e PARKIN, 1994).

Assim, a utilização de práticas não sustentáveis resultantes da implantação de sistemas agrícolas tem acarretado alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e, conseqüentemente, redução na capacidade dinâmica e vital deste recurso, diminuindo a sua qualidade e, muitas vezes, dificultando a sua recuperação (NUNES, 2003; COSTA et al., 2003; CUNHA et al., 2001). Nesse sentido, a tendência é que ocorra modificação do equilíbrio de um ambiente natural, sobretudo, pela retirada da vegetação e exposição do solo, com conseqüentes perdas de qualidade e quantidade de matéria orgânica (SOUZA et al., 2006) e pela aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas, tráfego de máquinas e alteração do regime hídrico nas bacias hidrográficas (CORRÊA et al., 2010).

Observa-se que, por meio dessas práticas agropecuárias inadequadas, uma vez ocorrida a remoção da cobertura vegetal, inicialmente, provoca redução de

processos de ciclagem de nutrientes e aceleração da decomposição da matéria orgânica (ZALAMENA, 2008), modificando características físicas do solo como a densidade, estrutura e a porosidade (CARNEIRO et al., 2009; PORTUGAL et al., 2010) e a distribuição de agregados (PORTUGAL et al., 2010), comprometendo o suprimento de água, a aeração, a disponibilidade de nutrientes, a atividade microbiana e a penetração de raízes, dentre outros (REINERT e REICHERT, 2006).

Assim, para a avaliação da qualidade do solo como um indicador de sustentabilidade de sistemas agrícolas, além de ser fundamental a escolha criteriosa de um conjunto mínimo de indicadores (CASALINHO et al., 2007), deve-se escolher estes com características desejáveis para indicadores, ou seja, os atributos com potencial para relacionar os efeitos de determinada prática de manejo agrícola (isoladamente ou em conjunto) sobre um único ou um conjunto de atributos de um agrossistema. Além disso, é essencial realizar uma avaliação contínua, no tempo, dos atributos do solo quando se objetiva monitorar a eficiência ou não de sistemas de manejo, buscando sempre a melhora da qualidade do solo.

Dentro desse contexto tem sido dada ênfase ao estabelecimento de índices de qualidade do solo, quando da incorporação de biomas ao processo produtivo, como instrumento no controle, fiscalização e monitoramento, visando à manutenção e avaliação da qualidade de sistemas agrícolas (ARAÚJO et al., 2007). Portanto, dentre os métodos utilizados, vem ganhando destaque os métodos estatísticos de análise multivariada com ampla importância em estudos de análise exploratória de dados, sendo empregada no agrupamento de amostras segundo sua similaridade, bem como na seleção de variáveis de maior importância na discriminação de grupos pré-selecionados (BENITES et al., 2010).

Desse modo, com a finalidade de contribuir para a sustentabilidade da atividade agrícola desenvolvida na região do entorno do Lago de Sobradinho - BA, esse trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade física e química do solo, nos municípios baianos de Sobradinho, Casa Nova, Remanso e Sento Sé, em áreas sob diferentes usos agrícolas, por meio de técnicas estatísticas multivariadas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Bacia Hidrográfica do entorno do lago de Sobradinho – BA

A região do Vale do Submédio São Francisco tem sofrido alterações em sua paisagem em decorrência das atividades agrícolas em plena expansão principalmente com a produção agrícola ligada à fruticultura irrigada, com destaque na produção de banana, uva e manga. Essa atividade é de muita relevância econômica para a região e, cada vez mais, tem crescido nos últimos anos (BRASIL, 2011).

Com a construção da usina hidroelétrica de Sobradinho no final da década de 70, o desenvolvimento da agricultura nos municípios inseridos no entorno do lago de Sobradinho aumentou significativamente em razão ao aproveitamento da água barrada do Rio São Francisco possibilitando o manejo das diversas culturas por meio de sistemas de irrigação.

A finalidade da construção da usina hidroelétrica de Sobradinho foi geração de energia elétrica e, sobretudo, como fonte de regularização dos recursos hídricos da região, sendo importante nos períodos de estiagem, permitindo também a operação de todas as usinas da CHESF (Companhia Hidrelétrica do São Francisco) situadas ao longo do Rio São Francisco (TAFKGI, 1994). O reservatório de Sobradinho tem cerca de 320 km de extensão, com uma superfície de espelho d'água de 4.214 km<sup>2</sup>, e uma capacidade de armazenamento de 34,1 bilhões de metros cúbicos em sua cota nominal 392,50 m, constituindo-se no terceiro maior lago artificial do mundo, e segundo do Brasil (CORTEZ, 2009). Os municípios do entorno do lago se beneficiaram com a possibilidade de aproveitamento da água para irrigação e, principalmente os municípios de Sobradinho, Casa Nova, Remanso e Sento Sé destacam-se, sobretudo, pelo cultivo de oleráceas (cebola, melancia e melão) e de frutas, como manga e uva (TAFKGI, 1994).

Segundo a classificação de Köppen o clima é do tipo Bsw<sup>h</sup>, caracterizado por ser bastante quente, é denominado também de clima semiárido (JACOMINE, 1976). Além de apresentar uma baixa média anual de precipitação, inferior a 500 mm, há uma má distribuição desse elemento climático no tempo e no espaço, pois

as chuvas são concentradas em apenas três ou quatro meses e ocorrem em poucos dias do ano, sendo em geral, intensas e intercaladas por períodos de veranicos (SILVA et al., 2010).

De acordo com o Diagnóstico do Macrozoneamento Ecológico-Econômico da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (BRASIL, 2011), o tipo de vegetação predominante na região é a Savana Estépica (Caatinga) e segundo Jacomine et al. (1976), a Caatinga é do tipo hiperxerófila.

A região está inserida em uma província (Província Estrutural São Francisco) com predomínio de rochas do Pré-Cambriano como granitos, migmatitos, xistos e quartzitos (CUNHA et al., 2008; CUNHA et al., 2010).

Os principais solos da região, derivados das rochas que formam o embasamento geológico, e que podem ou não sofrer influência de cobertura de material retrabalhado são: Neossolos Litólicos Eutróficos e Distróficos associados com muitos afloramentos de rocha, Latossolos Vermelho Amarelo Eutrófico e Distrófico, Argissolos Vermelho Amarelo Eutrófico e Luvisolos (JACOMINE et al., 1976). Sendo, também, possível encontrar outras classes de solos representativos da região semiárida como: Planossolos, Neossolos Flúvicos, Neossolos Quartzarênicos, Cambissolos e Vertissolos (CUNHA et al., 2008; CUNHA et al., 2010).

De forma geral, o manejo dos solos agrícolas da região associado a fatores físicos e climáticos tem trazido sérios problemas quanto à sustentabilidade do sistema, resultando em prejuízos ambientais e impactos do ponto de vista sócio-econômico. Dessa forma, a associação de fatores como a elevada demanda evapotranspirativa, baixo índice pluviométrico, utilização de sistemas de irrigação (sulcos e inundações) de baixa eficiência, má qualidade da água para irrigação, sistemas de drenagem artificiais deficientes ou inexistentes e, em muitos casos, condições desfavoráveis de drenagem natural, aceleram o processo de salinização dessas áreas, em muitas já predispostas a ocorrer naturalmente, como no caso dos Planossolos, tornando-as ao longo do tempo improdutivas e desabitadas, repercutindo negativamente com alterações de atributos físicos e químicos do solo (QUEIROZ et al., 1997).

Além da degradação física e química promovida, dentre outros fatores, pelo manejo ineficiente da água de irrigação (D'ALMEIDA et al., 2005) e da utilização demasiada de fertilizantes químicos, adicionando quantidades elevadas de sais ao

solo (CAUSAPÉ et al., 2004), têm sido observado a degradação física devido a elevada erosão hídrica e a degradação biológica relacionada a matéria orgânica do solo cujo conteúdo é naturalmente baixo, em consequência das características da vegetação e do clima. Assim, o fornecimento de matéria orgânica para o sistema é limitado pela baixa produção de biomassa vegetal, o que contribui juntamente com o acentuado déficit de umidade para diminuir tanto a atividade quanto à diversidade da fauna edáfica (MELO FILHO e SOUZA, 2006).

Dentre os problemas que têm ocorrido e que contribuem para o cenário atual de degradação, destaca-se o elevado desmatamento associado ao sistema de preparo periódico convencional do solo. Nesse contexto, somado aos problemas advindos da salinização, erosão e do baixo aporte de matéria orgânica, o preparo do solo quando não considera o emprego racional de máquinas e implementos agrícolas com redução da intensidade do preparo, ou seja, da mobilização e pulverização da camada arável, redução do número de passadas dos conjuntos motomecanizados nas áreas no sentido de minimizar às alterações indesejáveis na estrutura da camada arável, têm gerado aumento na resistência à penetração e na densidade do solo e redução na macroporosidade e na taxa de infiltração de água (SPERA et al., 2009).

## **2.2 Sustentabilidade e Qualidade do solo**

O termo sustentabilidade tem sido amplamente discutido na medida em que cresce a preocupação com a conservação dos recursos naturais, principalmente da água e do solo. Nesse sentido, há uma tendência em manter a qualidade dos recursos por um longo período de tempo, por meio da sua utilização racional (VEZANNI, 2001).

A sustentabilidade dos solos é definida pela FAO (1991) como o sistema que envolve o manejo e a conservação dos recursos naturais, prevenindo a degradação do solo e da água, combinando tecnologias e atividades que integrem princípios sócio-econômicos com preocupação ambiental enquanto propiciam suporte necessário para a satisfação continuada das necessidades humanas para as

gerações presentes e futuras. De acordo com Silva (1998) existe outra corrente de sustentabilidade que defende a preservação dos recursos naturais com o crescimento econômico. Vale salientar que, do ponto de vista ecológico, a concepção de agricultura sustentável deve buscar a harmonia entre as práticas e de preservação ambiental e, especialmente, da biodiversidade e dos mananciais de água, diminuindo assim os impactos negativos da agricultura na qualidade das águas (RHEINHEIMET et al., 2003).

Nesse sentido, apesar de, o conceito de desenvolvimento sustentável reunir um conjunto de ações, estratégias de desenvolvimento e políticas ambientais, procurando atender as necessidades e perspectivas das gerações presentes, sem comprometer e deixar de atendê-las no futuro é notório que sempre haverá risco de que o crescimento econômico prejudique o meio ambiente, haja vista a pressão sobre os recursos naturais (SHENEIDER, 2013), a exemplo dos impactos ambientais promovidos pelas atividades agropecuárias através do uso inadequado dos solos associados à adoção de pacotes tecnológicos sem preocupação ecológica, o que torna o agrossistema frágil e insustentável (RHEINHEIMET et al., 2003).

A qualidade do solo é um tema relativamente recente e que começou a ser discutido no início dos anos 90 em função da preocupação da comunidade científica com a degradação dos recursos naturais, com a sustentabilidade agrícola e, sobretudo, com a importância da conservação do solo nesse contexto. Assim, Lal e Pierci (1991), motivados pelo grande número de áreas degradadas física e quimicamente e contaminadas por agroquímicos, identificaram a relação entre manejo de solo e sustentabilidade agrícola no sentido de estudar sistemas de manejo inovadores, capazes de balancear o requerimento do solo e das culturas. Desta forma, os pesquisadores definiram a importância do solo no sistema agrícola, não como um meio de maximizar a produção, mas sim de otimizar o uso deste recurso e sustentar a produtividade por um longo período (KARLEN et al., 1997).

Nesse mesmo período, nos Estados Unidos, esse conceito de sustentabilidade agrícola em função da conservação do solo, evoluiu para outro conceito denominado qualidade do solo. Dando continuidade a essa reflexão, o tema qualidade do solo foi definido pela primeira vez por Doran e Parkin (1994), sendo ainda utilizado nos dias atuais: “qualidade do solo é a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade por um longo período.” Karlen et al. (1997) apontam a qualidade do

solo, complementando a definição de Doran e Parkin (1994), como a capacidade que um determinado tipo de solo apresenta, em ecossistemas naturais e agrícolas, para desempenhar uma ou mais funções relacionadas à sustentação da atividade, da produtividade e da diversidade biológica, à manutenção da qualidade do ambiente, à promoção da saúde das plantas e dos animais e à sustentação de estruturas sócio-econômicas e de habitação humana.

De acordo com Silva (2003), cada tipo de solo apresenta diferente comportamento em relação à retenção e permeabilidade de água, disponibilidade de nutrientes, entre outras. Assim, em função dessa variabilidade, a qualidade do solo é definida como o conjunto de suas propriedades físicas, químicas e biológicas relacionadas ao meio de crescimento das plantas, regulação e distribuição de água no meio ambiente, atuação como tampão ambiental na retenção e degradação de produtos danosos ao meio ambiente. Desta forma, a relação entre manejo e qualidade do solo pode ser avaliada pelo comportamento das propriedades do solo, para que seja adotado o manejo mais adequado ao solo e às culturas, a fim de que ocorra melhora na conservação deste recurso (SILVA, 2003).

Assim, o estudo da qualidade do solo é essencial, pois reflete o uso, a produtividade e a sustentabilidade global de agrossistemas, sendo, portanto, um indicador necessário quando se deseja fornecer informações sobre o manejo do solo e assegurar a tomada de decisões para uma melhor utilização desse recurso (SPOSITO, 2003), tendo em vista que a qualidade do solo pode ser diminuída pelas mudanças do uso da terra, especialmente o cultivo em áreas desflorestadas, ao contrário do que ocorre, por exemplo, em sistemas conservacionistas de manejo como o plantio direto (SILVA et al., 2000), o qual visa a manutenção da qualidade do solo por um longo período e, assim, da sustentabilidade agrícola (VEZZANI, 2001).

Alguns autores têm sido bastante incisivos com relação ao conceito e o entendimento do termo qualidade do solo. Sojka e Upchurch (1999), por exemplo, verificaram a relação direta entre boas práticas de manejo do solo e a melhora da qualidade do solo, em termos de potencial de produção, sustentabilidade e impacto ambiental, referindo-se a qualidade dinâmica do solo. Já, Norfleet et al. (2003) destacam a forte correlação entre a qualidade do solo e os seus fatores de formação como uma extensão (ramo) da pedologia, referindo-se a qualidade inerente do solo. Dentro desse contexto, propriedade como textura, mineralogia são inatas ao solo e determinadas pelos fatores de formação: clima, material de origem, relevo, tempo e

organismos. Elas auxiliam na comparação entre um solo e outro e avalia o solo como viável ou não para usos específicos. Por exemplo, solos argilosos possuem maior capacidade de retenção de água do que solos arenosos e, portanto, possuem maior qualidade inerente do solo. Por outro lado, a qualidade dinâmica é definida como modificações naturais nas características do solo em função de atividades humanas e manejo. Por exemplo, práticas de manejo conservacionistas que mantêm sobre o solo cobertura morta e que, aumenta o teor de matéria orgânica, pode ter o efeito benéfico na qualidade dinâmica do solo.

Notadamente a quantificação da qualidade do solo é uma tarefa ainda árdua e passa pela adoção do método adequado, qualitativo ou quantitativo, que considere e possa transformar a natureza complexa e específica de cada tipo de solo em atributos mensuráveis, para refletir o real estado de funcionar, possibilitando avaliações sistemáticas independentes de seus múltiplos usos (KARLEN et al., 1997). Já Nortcliff (2002) sugere uma proposta resumida baseada em definir explicitamente as funções que determinam a qualidade do solo, identificar os atributos de cada função e, então, selecionar um conjunto mínimo de indicadores físicos, químicos e biológicos, sensíveis ao manejo e de fácil determinação que, acompanhados ao longo do tempo, são capazes de detectar as alterações da qualidade do solo em função do uso e das práticas de manejo do solo.

### **2.3 Indicadores de qualidade do solo**

Indicador pode ser entendido como um instrumento que permite a avaliação de um sistema e, que determina o nível que esse sistema deve ser mantido para que seja sustentável. São utilizados comumente com objetivo de definir ou estabelecer padrões de sustentabilidade e inferir sobre uma dada realidade com consequente auxílio na tomada de decisão (BEAUDOUX, 1993; NORTCLIFF, 2002).

A busca por indicadores de qualidade do solo começou no início da década de 90 por Larson e Pierce (1994) e Doran e Parkin (1994), quando estes últimos propuseram um conjunto de indicadores de ordem biológica, química e física, tais como: textura, profundidade de solo e de raízes, densidade do solo, infiltração de

água no solo, capacidade de armazenamento e de retenção de água, conteúdo de água no solo, temperatura do solo, teores de carbono e de nitrogênio orgânico total, pH, condutividade elétrica, teores de nitrogênio mineral, fósforo, potássio, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, nitrogênio potencialmente mineralizável, respiração do solo, carbono na biomassa em relação ao carbono orgânico total e respiração microbiana em relação a biomassa: Segundo os mesmos pesquisadores, estes indicadores foram selecionados por estabelecerem relação com quatro funções do solo: habilidade de regular e compartimentabilizar o fluxo de elementos químicos; promover e sustentar o desenvolvimento de raízes; manter um habitat biológico adequado; e responder ao manejo, resistindo a degradação.

### **2.3.1 Indicadores de qualidade física do solo**

Os indicadores físicos, do ponto de vista das atividades agrícolas, assumem importância por estabelecerem relações fundamentais com os processos hidrológicos, tais como taxa de infiltração, escoamento superficial, drenagem e erosão. Possuem também função essencial no suprimento e armazenamento de água, de nutrientes e de oxigênio no solo. A qualidade física do solo está relacionada à sustentabilidade de sistemas agropecuários e a sua avaliação deve ser realizada através de indicadores que reflitam o seu comportamento (PEREIRA et al., 2011). Segundo Reynolds et al. (2002) esses indicadores físicos exercem função de sustentação do solo e sua avaliação encontra-se em processo de expansão, uma vez em que é observada relação entre a melhoria da qualidade física e consequentemente melhoria na qualidade química e biológica do solo (DEXTER, 2004; ARAÚJO et al., 2007). Dessa forma, os principais indicadores físicos propostos atualmente são: textura; densidade do solo; porosidade total; resistência à penetração; estabilidade de agregados; capacidade de retenção de água; e condutividade hidráulica (ARAÚJO et al., 2012).

O efeito do manejo sobre as propriedades físicas do solo é dependente da sua textura e mineralogia, as quais influenciam a resistência e a resiliência do solo a determinada prática agrícola (SEYBOLD et al., 1999). Dentre as propriedades físicas

do solo, a estrutura é uma propriedade sensível ao manejo e pode ser analisada segundo variáveis relacionadas à sua forma (ALBUQUERQUE et al., 1995) e ou a sua estabilidade (CAMPOS et al., 1995). De modo geral, com o aumento do cultivo tem sido observada diminuição no tamanho dos agregados do solo (CARNEIRO et al., 2009), aumento da densidade do solo, redução da porosidade total e aumento da resistência do solo à penetração (ALBUQUERQUE et al., 1995; GIAROLA et al., 2007; TAVARES FILHO e RIBON, 2008). Assim, a estrutura influencia diversas propriedades físicas no solo, sobretudo a densidade (AGUIAR, 2008), que se relaciona, principalmente, à capacidade de penetração das raízes e da difusão de oxigênio, desenvolvimento das plantas e a produtividade, e pela absorção de água e nutrientes pelas raízes (DORAN e PARKIN, 1994). Além desses prejuízos decorrentes das modificações em práticas de manejo e das culturas (CAMPOS et al., 1995), tem-se observado também redução no complexo de cargas e na atividade biológica, com consequência negativa para as plantas e redução na produtividade devido, principalmente, a diminuição da estabilidade de agregados, o aumento da densidade e a diminuição da microporosidade (CRUZ et al., 2003; SILVA et al., 2005).

Conforme já mencionado, a avaliação da estrutura do solo pode ser realizada segundo variáveis relacionadas à sua forma (ALBUQUERQUE et al., 1995) e ou a sua estabilidade (CAMPOS et al., 1995). A avaliação da estabilidade de agregados do solo é comumente realizada por meio dos parâmetros: diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP), denominados índices de agregação do solo, que além de refletir o estado de estruturação do solo, inferem sobre suscetibilidade ou resistência à processos erosivos, sendo também sensíveis à práticas de manejo de solo como o preparo periódico, tráfego de máquinas e pisoteio animal, que acentuam o processo de compactação, e a sistemas com baixo aporte e teor de matéria orgânica, como encontrado em diversos trabalhos (CASTRO FILHO et al., 1998; PALMEIRA et al., 1999; MENDES et al., 2003; BEUTLER et al., 2005; MARCOLAN e ANGHINONI, 2006), mostrando-se, assim, um excelente indicador de qualidade do solo. Segundo Kiehl (1979), em solos arenosos, é considerada como faixa adequada: DMP variando entre 1,45-1,60 mm e, DMG variando entre 1,45-1,60 mm.

A densidade do solo é determinada pela relação entre massa de solo seco e o volume total que essa massa ocupa incluindo o espaço ocupado pelo ar e pela

água. É afetada pela cobertura vegetal, pelo grau de compactação, pelo teor de matéria orgânica, pelo uso e manejo do solo e pela profundidade (CARVALHO et al., 1999; SILVA et al., 2000), ou seja por praticamente todos os fatores que se relacionam à estrutura do solo, de acordo com Aguiar et al. (2008). É considerado um importante indicador de qualidade do solo devido a sua resposta ao uso e manejo do solo no médio prazo como verificado por Argenton et al. (2005). Esses autores avaliaram a qualidade física de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo e plantas de cobertura em comparação com mata nativa e concluíram que os sistemas de preparo modificaram a estrutura do solo, com aumento da densidade do solo e da resistência à penetração e redução da macroporosidade e da porosidade total. Reichert et al. (2003) propuseram valores de densidade do solo crítica para algumas classes texturais: 1,30 a 1,40 Mg m<sup>-3</sup> para solos argilosos, 1,40 a 1,50 Mg m<sup>-3</sup> para os franco-argilosos e de 1,70 a 1,80 Mg m<sup>-3</sup> para os franco-arenosos.

A porosidade do solo depende diretamente da estrutura e da textura, sendo os poros são determinados pelo arranjo e geometria das partículas, que podem ser diferenciados quanto a tortuosidade, forma, comprimento e largura. O estudo dos poros é baseado usualmente na distinção quanto ao diâmetro dos poros em macroporos e microporos, nos quais estão associados os processos de aeração e drenagem, e retenção de água, respectivamente (AGUIAR, 2008; FERREIRA, 2010). Em solos arenosos a tendência é que ocorra predominância de macroporos e, por outro lado, predominância de microporos nos solos argilosos. Para estudar o armazenamento e movimentação de água do solo, bem como a aeração, torna-se importante conhecer a distribuição dos poros. Solos com textura grosseira tem maior proporção de macroporos, sendo bem drenados e arejados enquanto solos com textura fina tem capacidade de drenagem inferior, porém a porosidade total é maior, devido a maior formação de microagregação pelas partículas de argila (KLEIN, 2005), retendo com isso mais água (KIEHL, 1979).

A relação entre macroporosidade e microporosidade influencia no desenvolvimento das culturas, sendo observado, em solos com reduzida macroporosidade, a indução do crescimento lateral das raízes e, em solos excessivamente porosos menor contato entre solo/raiz reduzindo a absorção de nutrientes e água pelo sistema radicular (BEUTLER e CENTURION, 2003).

Além da estrutura, a textura está relacionada tanto com a densidade como com a porosidade total de um solo. Dessa forma, em solos arenosos a tendência é que ocorra predominância de macroporos e, por outro lado, predominância de microporos nos solos argilosos.

Nesse mesmo raciocínio, embora estudando a influência de diferentes sistemas de manejo agroflorestais, Aguiar (2008) verificou, de maneira geral, redução nos valores de porosidade total, associando essa redução à diminuição da macroporosidade e aumento da microporosidade, fato este que por um lado pode ter o efeito benéfico de incrementar a água retida nos microporos, porém frequentemente reduz a percolação de água no perfil e, conseqüentemente, afeta sobremaneira a disponibilidade de água.

### **2.3.2. Indicadores de qualidade química do solo**

Dentre os principais indicadores químicos de qualidade do solo destaca-se a matéria orgânica do solo (MOS) em virtude de ser altamente suscetível a alteração frente às práticas de manejo (REINERT et al., 2006), além de estabelecer relação com as demais propriedades do solo, tais como a densidade, a porosidade, a superfície específica, a estrutura e a retenção de água. Também exerce ainda influência sobre a cor, consistência, permeabilidade, aeração e temperatura, e é importante para a capacidade de troca catiônica e para o conteúdo de bases trocáveis no solo (KIEHL, 1979).

Segundo Kiehl (1979) a matéria orgânica é resultado do processo de decomposição de resíduos vegetais e animais que sofreram decomposição biológica por meio da ação de microrganismos, encontrando-se em uma forma resistente a novos ataques microbianos e por isso acumulando-se no solo. De forma geral, é um dos fatores responsáveis pela manutenção da produtividade do solo, destacando-se por fornecer ao mesmo, substâncias agregantes tornando-o grumoso, ou seja, por formar a bioestrutura do solo, além de liberar ácidos orgânicos e alcoóis durante sua decomposição, que servem como fonte de carbono aos microrganismos e,

substâncias intermediárias produzidas na decomposição que podem ser absorvidas pelas plantas (PRIMAVESI, 2002).

O manejo da MOS depende, dentre outros fatores, das condições edafoclimáticas, do manejo adotado e da qualidade dos resíduos vegetais adicionados. Em condições tropicais e subtropicais, esse manejo torna-se mais complexo devido às altas taxas de oxidação, como consequência da mobilização do solo resultante do preparo, que promove o incremento nas trocas gasosas, reduzindo a proteção física dos fragmentos de MOS presentes no interior dos agregados (REINERT et al., 2006), fato que a torna um indicador chave da qualidade do solo devido a elevada sensibilidade do seu teor frente a essas práticas de manejo e, por ter estreita relação com propriedades e funções do solo, tais como: a estabilidade de agregados, a estrutura, infiltração e retenção de água, atividade biológica, capacidade de troca de cátions (CTC), disponibilidade de nutrientes para as plantas, lixiviação de nutrientes, liberação de CO<sub>2</sub> e outros gases para a atmosfera. No entanto, conforme Campos et al. (1995) a influência da MOS na agregação do solo e estabilidade de agregados, por exemplo, é um processo dinâmico, sendo necessário o acréscimo contínuo desta ao solo para desempenhar, dentre outras funções, suporte adequado ao desenvolvimento das plantas, devendo-se considerar outros aspectos como atividade dos microrganismos, fauna e vegetação, que juntos promovem esses efeitos benéficos sobre a agregação e a estabilidade de agregados.

Do ponto de vista agrícola, vale salientar a importância da quantificação das frações mais reativas da MOS, por exemplo, os ácidos fúlvicos, a qual é apresenta maior solubilidade em água, maior reatividade, contribuindo, desta forma, para um possível aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), aumento da retenção de nutrientes, diminuição de perdas por lixiviação, aumento da retenção de água, capacidade tampão, maior facilidade de liberação de nutrientes aumentando a fertilidade e a capacidade de fornecer nutrientes às plantas (BARRETO et al., 2008).

A CTC é considerada outro importante indicador de qualidade do solo, pois está relacionada à capacidade do solo em reter e fornecer nutrientes às plantas, reduzindo as perdas destes por lixiviação, sendo esta capacidade maior ou menor em função da quantidade de cargas negativas presentes na superfície dos colóides, estas originárias do pH (dependente do pH) ou de substituição isomórfica nas reações de formação de minerais (permanente) (BARRETO et al., 2008).

Além destas, outras propriedades podem servir como indicadores de qualidade, a exemplo da acidez do solo, do conteúdo de nutrientes, de elementos fitotóxicos (como por exemplo o  $\text{Al}^{3+}$ ) e determinadas relações como as saturações de bases (V%) e de alumínio (m) (ARAÚJO et al, 2012).

Os íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , que podem ser encontrados na solução do solo, estão relacionados aos fenômenos de dispersão e floculação das partículas, sendo  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  íons floculantes e o  $\text{Na}^+$  íon dispersante, afetando entre outros aspectos a formação da estrutura do solo. Além disso, relacionam-se ainda com a CTC. Segundo Almeida Neto (2007) a dispersão de agentes cimentantes nos agregados do solo pode ocorrer naturalmente ou devido à ação antrópica, causando modificações na estrutura do mesmo. Dufranc et al., (2004) afirmam que esses cátions polivalentes são essenciais na união da fração orgânica e os minerais de argila do solo, favorecendo a interação entre as frações argila e orgânica, ou seja, reduzindo a dispersão das partículas de argila e, conseqüentemente, influenciando no processo de agregação do solo.

#### **2.4 Estatística multivariada para avaliação da qualidade do solo**

Apesar da dificuldade de se obter um método prático e confiável para estimar a qualidade do solo esta tem sido avaliada por intermédio da mensuração de indicadores apropriados e pela sua comparação com valores desejáveis, conhecidos como limites críticos, em diferentes intervalos de tempo (MELO FILHO et al., 2007), para um fim específico em ecossistemas agrícolas, florestais e pecuários (ARAÚJO et al., 2012). Além dos métodos convencionais baseados em estabelecer um conjunto mínimo de indicadores, estabelecer um ponto de referência e comparar com limites críticos (ARSHAD e MARTIN, 2002; MELO FILHO et al., 2007), vem sendo amplamente utilizada a análise multivariada para entender melhor os fatores que prejudicam o cultivo, a fim de melhorar o manejo, como encontrado em diversos trabalhos (HE et al., 2008; BARETTA et al., 2007; LOVATO et al, 2005; MALUCHE-BARETTA et al., 2006; LUO, 2007).

Segundo Hair et al., (2010) a análise multivariada refere-se às técnicas estatísticas que analisem simultaneamente várias medições em indivíduos ou objetos que estejam sob investigação. Consiste, portanto, em um conjunto de métodos aplicados em situações onde várias variáveis são medidas simultaneamente em cada elemento amostral (MINGOTI, 2005), de fundamental importância para a tomada de decisões nos mais variados campos do conhecimento (FÁVERO et al., 2009).

Os principais métodos aplicados para avaliação da qualidade de solos em sistemas agrícolas utilizados em diversos trabalhos (HE et al., 2008; BARETTA et al., 2008; LOVATO et al, 2005; MALUCHE e BARETTA et al., 2006; LUO, 2007; QISHLAQI et al., 2009; JAJALI, 2010; FRANCO-URIA et al., 2008) são: análise de componentes principais (ACP); análise de cluster; análise de correlação canônica; análise discriminante (AD) e análise fatorial (AF).

A ACP é usada quando o objetivo é reduzir a informação, ou seja, resumir a informação original (variância) a um número mínimo de fatores, em que é utilizado um método de extração, responsável por extrair os fatores (combinações lineares de variáveis) na ordem decrescente de significância, sendo que os primeiros fatores extraídos explicam o maior percentual de variância total dos dados, e os próximos explicam montantes cada vez menores (HAIR et al., 2005).

Do ponto de vista agrícola, a ACP vem sendo aplicada constantemente em estudos que buscam identificar problemas de degradação em solos, visando melhorar o manejo agrícola. Nesse sentido, através da obtenção de atributos do solo, esta técnica possibilita monitorar e avaliar a qualidade dos solos agrícolas, para, por exemplo, intervir no controle das impurezas como os metais pesados e substâncias tóxicas, como encontrado por He et al. (2008) e Franco-Uria, (2008).

A análise de cluster, segundo Máximo et al., (2009) vem sendo utilizada quando se quer agrupar os elementos amostras em grupos distintos, de forma que cada grupo seja composto por elementos que mais se assemelham. Trata-se, portanto, de uma técnica que, utilizada em conjunto com outros métodos citados anteriormente, ajuda a identificar, por exemplo, melhores técnicas ou práticas de manejo do solo. Lovato et al. (2005) utilizaram a ACP e a análise de cluster com o objetivo de melhorar o manejo do solo, sendo isso possível devido às técnicas possibilitar identificar a relação entre a temperatura e a umidade nas variáveis observadas no solo.

Quando se deseja identificar e quantificar o nível de associação entre dois grupos de variáveis deve-se utilizar a análise de correlação canônica. Obtém-se, assim, uma função linear do conjunto de variáveis que se correlacionam o máximo possível com funções do conjunto de variáveis (EVERIT, 2005), podendo ser pensado como um vetor resultante das correlações e covariâncias entre os pares das variáveis (FERREIRA, 2008). Na agricultura, esta técnica tem sido utilizada de forma independente ou em conjunto com outras técnicas multivariadas, quando se deseja identificar, por exemplo, os motivos da variação de qualidade de solos ou de sistemas de produção, com base nos seus atributos, auxiliando na melhoria da qualidade do solo e, conseqüentemente, na qualidade dos produtos agrícolas, bem como, no desenvolvimento ou aperfeiçoamento técnicas de manejo capazes de alcançar esses objetivos, como encontrado por Baretta et al., (2008).

A AD é utilizada na condição quando se tem uma variável dependente não métrica (qualitativa) e as variáveis independentes são quantitativas (métricas), com o intuito de relacionar as variáveis com os respectivos grupos, discriminados por estas, através de funções discriminantes (combinações lineares das variáveis) que ampliam a discriminação dos grupos descritos pelas variáveis dependentes (FÁVERO et al., 2009). Desta forma, é uma técnica que pode ser usada de forma independente ou em conjunto com outras técnicas, e, que, nessas condições possibilita, por exemplo, classificar solos como bom, regular ou ruim, em função de seus atributos, bem como, avaliar e prever a qualidade de solos por meio das funções discriminante, a exemplo do estudo feito por Pamplona (2011). Além disso, se for utilizado com outros métodos como a ACP pode identificar naquelas condições do sistema agrícola, quais são as práticas de manejo do solo (adubação, por exemplo), que irão melhorar a sustentabilidade da agricultura, como observado por Qishlaqi et al., (2009). Com base nos resultados das análises, estes autores sugeriram a prática de adubação química como importante na sustentabilidade e segurança de terras aráveis, e isso proporcionaria a otimização do sistema agrícola.

Segundo Maroco (2007) a AF é uma técnica de análise exploratória de dados que tem por objetivo descobrir e analisar a estrutura de um conjunto de variáveis inter-relacionadas, de modo a construir uma escala de medidas para fatores. Estimando, assim, os fatores comuns, sendo cada fator correspondente às correlações entre as variáveis, capazes de descrever os dados em um número muito menor em relação às variáveis originais (FÁVERO et al., 2009). Para sua aplicação,

devem-se observar os pressupostos quanto à normalidade dos dados, presença de outliers (valores discrepantes da amostra) e número significativo de correlação entre as variáveis.

Neste contexto, a AF tem sido utilizada como ferramenta para construção de índices de qualidade nas mais diversas áreas, para definir indicadores nos mais diversos sistemas, sendo observado em estudos que visam o estabelecimento de índices de qualidade ambiental, de vida e índices econômicos (FERNANDES et al., 2005; RODRIGUES et al., 2013) e, mais recentemente, de qualidade do solo e da água. Desta forma, a AF foi utilizada por Toledo e Nicolella (2002) para o estudo da qualidade da água em microbacia em área agrícola e urbana, sendo importante, em função dos valores dos índices nos pontos de coleta para mostrar diferença na qualidade da água a montante e a jusante, bem como, identificar quais os atributos mais influenciam os índices e que poderão ser monitorados ao longo do tempo.

Em relação à aplicação desta técnica na avaliação da qualidade de solos, Pamplona (2011) avaliou a qualidade do solo sob plantação de Açaí e identificou índices de qualidade física e química separadamente e conjuntamente, a partir dos escores fatoriais estimados, o que possibilitou classificar a qualidade das amostras de solo em boa, regular e ruim. Além disso, juntamente com o uso da AD, em relação os atributos físicos e químicos na profundidade de 0,00 – 0,05 m, o autor observou que os atributos macroporosidade e argila; e saturação de bases, potencial hidrogeniônico e cálcio, respectivamente, foram os que mais discriminaram os grupos e, sendo estes, portanto, considerados bons indicadores de qualidade física e química nesta profundidade. Já para a profundidade de 0,25 – 0,30 m os atributos químicos saturação de bases, alumínio e potencial hidrogeniônico; e físicos: porosidade total e densidade se destacaram em relação aos demais na discriminação dos grupos.

## 2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, M.I.V. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008.79 f. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas) – Universidade federal de Viçosa.

ALMEIDA NETO, O. B. **Dispersão da argila e condutividade hidráulica em solos com diferentes mineralogias, lixiviados com soluções salino-sódicas**. 2007. 93 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 19: 115-119, 1995.

ARSHAD, M.A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.88, n.2, p.153-160, 2002.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31: 099-1108, 2007.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma de estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29: 425-435, 2005.

ARAÚJO, E.A. KER, J.C. NEVES, J.C.L. LANI, J.L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, 5: 187-206, 2012.

BARRETO, A.C.; FREIRE, M.B.G.; NACIF, P.G.S.; ARAÚJO, Q.R.; FREIRE, F.J.; INÁCIO, E.S.B. Fracionamento químico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32, p: 1471-1478, 2008.

BARETTA, D.; BARETTA, C.R.D.; CARDOSO, E.J.B.N. **Análise multivariada de atributos microbiológicos e químicos do solo em florestas com araucária angustifolia**. XXXI congresso brasileiro de ciências do solo. Gramado, RS, Brasil, 05 a 10 de agosto de 2007.

BENITES, V.M.; MOUTTA, R.O.; COUTINHO, H.L.C.; BALIEIRO, F.C. Análise discriminante de solos sob diferentes usos em área de mata atlântica a partir de atributos da matéria orgânica. **Revista Árvore**, 34: 685-690, 2010.

BEAUDOUX, E. et al. **De la intensificación a La evaluación. Guia metodológica de apoyo a proyectos y acciones para El desarrollo**. La Paz. Bolívia: Huellas, 1993. 197 p.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; ROQUE, C.G. Relação entre alguns atributos físicos e a produção de grãos de soja e arroz sequeiro em Latossolos. **Ciência Rural**, 34: 365-371, 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Diagnóstico do Macrozoneamento ecológico-econômico da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**. Brasília, DF, 2011. 488p.

CASALINHO, H.D.; MARTINS, S.R.; SILVA, J.B.; LOPES, A.S. Qualidade do solo como indicador e agroecossistemas. **Revista Brasileira de Agrociência**, 13: 195-203, 2007.

CAMPOS, R.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 19: 121-126, 1995.

CARVALHO, E.J.M.; FIGUEIREDO, MS.; COSTA, L.M. Compartimento físico-hídrico de um Podzólico Vermelho – Amarelo Câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 34: 257-265, 1999.

CAUSAPÉ, J.; QUÍLEZ, D.; ARAGUÉS, R. Assessment of irrigation and environmental quality at the hydrological basin level II. Salt and nitrate loads in irrigation return flows. **Agricultural Water Management**, v. 70, p. 211-18, 2004.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistema de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22: 527-38, 1998.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33: 147-157, 2009.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas semeadura direta e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27: 527 - 537, 2003.

CORRÊA, R.M.; FREIRE, M.B.G.; FERREIRA, R.L.C.; SILVA, J.A.A.; PESSOA, L.G.M.; MIRANDA, M.A.; MELO, D.V.M. Atributos físicos de solos sob diferentes usos com irrigação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, 14: 358–365, 2010.

CORTEZ, H. Os ambientalistas e as hidrelétricas. Disponível em < <http://http://henriquetcortez.wordpress.com/2009/02/07/os-ambientalistas-e-as-hidreletricas-por-henrique-cortez/>>. Acesso em 05 set. 2013.

CUNHA, T. J. F.; SILVA, F. H. B. B. da.; SILVA, M. S. L. da.; PETRERE, V. G.; SÁ, I. B.; OLIVEIRA NETO, M. B. de.; CAVALCANTI, A. C. **Solos do Submédio do Vale do São Francisco : potencialidades e limitações para uso agrícola**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2008. (Embrapa Semiárido. Documentos, 211).

CUNHA, T.J.F.; PETRERE, V.G.; SILVA, D.J.; MENDES, A.M.S.; MELO, R.F.; OLIVEIRA NETO, M.B.; SILVA, M.S.L.; ALVAREZ, I.A. Principais solos do Semiárido

tropical brasileiro: Caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: SÁ, I.B.; SILVA, P.C.G. (Ed). **Semiárido brasileiro**: pesquisa, desenvolvimento e inovação. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010, cap. 2, p. 50-87.

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

CRUZ, A.C.R.; PAULLETO, E.A.; FLORES, C.A.; SILVA, J.B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27: 1105-1112, 2003.

D'ALMEIDA, D.M.B.A.; ANDRADE, E.M.; MEIRELES, A.C.M. Importância relativa dos íons na salinidade de um Cambissolo na Chapada do Apodi, Ceará. **Engenharia Agrícola**, 25: 615-21, 2005.

DEXTER, A.R. Soil physical quality - Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, 120: 201-214, 2004.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B., Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (eds). **Defining soil quality for a sustainable environment**. SSSAJ, Madison, (Publication Number 35), 1994. P. 3-22.

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28: 505-517, 2004.

EVERIT, B.S. An R and S-Plus companion to multivariate analysis. 1 ed. London: Springer – Verlag, 2005.

FÁVERO, L.P.; BELFIORE, P.; SILVA, P.; CHAN, B. **Análise de Dados**: Modelagem Multivariada para Tomada de Decisões. 1 ed. Rio de Janeiro: Campos Elsevier, 2009.

FAO (Food and Agriculture Organization). **The den Bosh declaration and agenda for action on sustainable agriculture and rural development**. FAO, Rome: 1991. Report of the conference.

FRANCO-ÚRIA, A.; MATEO-LOPEZ, C.; ROCA, E.; FERNÁNDES-MARCOS, M.L.; Source identification of heavy metals in pastureland by multivariate analysis in N.W Spain. **Journals of Hazardous Materials**, 165: 1008-1015, 2008.

FERNANDES, E.A.; SILVA, R.G.; BATISTA, S.M.A. Índice Relativo de Qualidade de Vida brasileiro: uma alternativa ao Índice de desenvolvimento humano. **Revista Redes**, 10: 85-101, 2005.

FERREIRA, D. F. **Estatística multivariada**. 1 ed. Lavras: Ufla, 2008.

FERREIRA, M. M. Caracterização Física do Solo. In: VAN LIER, Q. J., ed. Física do Solo. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2010. cap. 1, p. 1-28

GIAROLA, N.F.B.; TORMENA, C.A.; DUTRA, A.C. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31: 863-873, 2007.

HAIR Jr., J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. **Análise Multivariada de Dados**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HAIR JR, J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J. ANDERSON, R.E. **Multivariate data analysis**. 7ed. New Jersey: Prentice Hall. 2010.

HE, M; HAM, W.; GU, Y.; LI, J. Analysis and assessment on heavy metal source in the coastal soils developed from alluvial deposits using multivariate statistical methods. **Journals of Hazardous Materials**, v. 164, p. 976-981, 2008.

JALALI, M. Multivariate statistical analysis of potassium status in agricultural soils in hamadam, western Iran. **Pedosphere**, 20, 293-303.2010.

JACOMINE, P.K.T.; CAVALCANTE, A.C.; RIBEIRO, M.R.; MONTENEGRO, J.O.; BURGOS, N.; MELHO FILHO, H. F. R. de.; FORMIGA, R.A. **Levantamento exploratório: reconhecimento de solos da margem esquerda do Rio São Francisco, Estado da Bahia**. Recife: SUDENE-DRN, 1976, v.1, 404p.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J. W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Science Society of American Journal**, 61: 4-10, 1997.

KIEHL, r José. **Manual de Edafologia**. Editora Agronômica Ceres, Ltda. São Paulo – SP, 1979. 263p.

KLEIN, V.A. Propriedades do solo e manejo da água em ambientes protegidos com cultivo de morangueiro e figueira. Passo Fundo: ed. UPF, 2005. 61 p.

LAL, R.; PIERCE, F.J. The vanishing resource. In: LAL, R. & PIERCE, F.J., eds. Soil management for sustainability. Ankeny, **Soil Water Conservation Society**, 1991, p. 1-5.

LOVATO,T.; BORTOLUZZI,O.A.; VICINI,L.; GUTH,P.L.; JACOBS.L.E. Avaliação da fauna edáfica em campo nativo mediante técnicas da análise multivariada. XI Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica, Londrina, PR, Brasil, 04 a 08 de julho de 2005.

LUO,W.; WANG,T.; LU,Y.; GIESY, J.P.; SHI,Y.; ZHENG,Y.;XING,Y.WU,G. Landscape ecology of the Guanting Reservoir, Beijing, China: Multivariate and geostatistical analyses of metals in soils. **Environmental Pollution**, 146: 567-576, 2007.

MALUCHE-BARETTA,C.R.D.;AMARANTE,C.V.T.; KLAUBERG FILHO. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41: 1531-1539, 2006.

MAROCO, J. **Análise Estatística com a utilização do SPSS**. 3 ed. Lisboa: Lisboa, 2007, 822 p.

MARQUELLI, R. P. **O desenvolvimento sustentável na agricultura do cerrado brasileiro**. 2003. 54f. (Monografia - MBA em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada, área de concentração Planejamento Estratégico). ISAE - FGV/ECOBUSINESS SCHOOL, Brasília, 2003.

MARCOLAN, A.L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de cultura de acordo com o crescimento em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30: 163-170, 2006.

MÁXIMO, P.S.; SILVA, M.L.; MÁXIMO, M.S.; Valoração de contingente pelas modelagens logit e análise multivariada: um estudo de caso da disposição a aceitar a compensação dos cafeicultores vinculados ao pro-café de Viçosa-MG. **Revista Árvore**, 33: 1149-1157, 2009.

MELO FILHO, J.F.; SOUZA, A.L.V. O manejo e a conservação do solo no Semi-árido baiano. **Bahia Agrícola**, 7: 1 - 11, 2006.

MELO FILHO, J.F.; SOUZA, A.L.V.; SOUZA, L.A. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em latossolo amarelocoeso dos tabuleiros costeiros, sob floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 3: 1599-1608, 2007.

MENDES, I.C.; SOUZA, L.V.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho – Escuro sob plantio direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27: 435-443, 2003.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de Métodos de Estatística Multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

NORTCLIFF, S. Standardisation of soil quality attributes. **Agriculture Ecosystem Environmental**, 88: 161-168, 2002.

NORFLEET, M.L.; DITZLER, C.A.; PUCKETT, W.E.; GROSSMAN, R.B.;SHAW, J.N. Soil quality and its relationship to pedology. **Soil Science**, 168: 149-155, 2003.

NUNES, L. A. P. L. **Qualidade de um solo cultivado com café e sob mata secundária no Município de Viçosa - MG**. 2003. 102f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.]

PAMPLONA, V. M. S. **Índices de Qualidade do solo para Plantação de Açaí**, 2011. Dissertação (Mestrado em Matemática e Estatística), PPGME, UFPA, Belém, Pará, Brasil.

PEREIRA, F.S. ANDRIOLI, I. PEREIRA, F.S. OLIVEIRA, P.S. CENTURION, J.F. FALQUETO, R.J. MARTINS, A.L.S. Qualidade física de um latossolo vermelho submetido a sistemas de manejo avaliados pelo índice S. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35: 87-95, 2011.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002, 549 p.

PORTUGAL, A. F.; JUNCKSH, I.; SHAEFER, C. E. R. G.; NEVES, J. C. L. Estabilidade de agregados em argissolo sob diferentes usos, comparado com mata. **Revista Ceres**, 57: 545-553, 2010.

QUEIROZ, J.E.; GONÇALVES, A.C.; SOUTO, J.S.; FOLEGATTI, M.V. Avaliação e monitoramento da salinidade do solo. In.: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. (Eds). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997. Cap. 3. p. 69-111.

QISHLAQI, A.; MOORE, F.; FORGHANI, G. Characterization of metal pollution in soils under two landuse patterns in the Angouran region, NW Iran; a study based on multivariate data analysis. **Journals of Hazardous Materials**, 172: 374-384, 2009.

REINERT, D. J.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; SUZUKI, L.E.A.S. Qualidade física dos solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16, 2006. Anais... Aracaju: SBCS, 2006.

REYNOLDS, W.D. et al. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, 110: 131-146, 2002.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, 27:29-48, 2003.

RHEINHEIMER, D.S.; GONÇALVES, C.S.; PELLEGRINO, J.B.R. Impacto das atividades agropecuárias na qualidade da água. **Ciência e Ambiente**, 27: 85-96, 2003.

RODRIGUES, C.T.; MENDES, G.M.; LIMA, J.E.S. Qualidade ambiental nos municípios da região Centro – sul de Minas Gerais. **Ensaio FEE**, v. 34, p. 149-166, 2013.

SCHNEIDER, E. Gestão Ambiental Municipal: Preservação ambiental e o desenvolvimento sustentável. Disponível em < [http://www.portalga.ea.ufrgs.br/acervo/artigos/Gestão Ambiental Municipal.pdf](http://www.portalga.ea.ufrgs.br/acervo/artigos/Gestão_Ambiental_Municipal.pdf)>. Acesso em 06 set. 2013.

SEYBOLD, C. A; HERRICK, J. E; BREJDA, J. J. Soil resilience: a fundamental component of soil quality. **Soil Science**, Baltimore, v. 164, p. 224-234, 1999.

SILVA, S.B. **Análise de Solos**. Belém: Universidade Federal do Pará, 2003, 152 p.

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 35: 2485-2492, 2000.

SILVA, L.A.B. **Análise de agroecossistemas em uma perspectiva de sustentabilidade**. Um estado de sistemas de cultivo de pêssego na região da Encosta Superior do Nordeste do RS. 1998. 141f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA, R.R.; SILVA, M.L.N.; FERREIRA, M.M. Atributos físicos indicadores de qualidade do solo sob sistemas de manejo na Bacia Alto do Rio Grande – MG. **Ciência e Agrotecnologia**, 29: 719-730, 2005.

SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINNO, H.B.; SILVA, C.A.; BUZETTI, S. Frações de carbono, biomassa e atividade microbiana em um Latosso Vermelho sob Cerrado submetido a diferentes sistemas de manejo e usos do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, 28: 323-329, 2006.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:129-136, 2009.

SPOSITO, G.; ZABEL, A. The assessment of soil quality. **Geoderma**, Amsterdam, 114: 143-144, 2003.

TAVARES FILHO, J.; RIBON, A. A. Resistência do solo à penetração em relação ao número de amostras e ao tipo de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32: 487-494, 2008.

TAFACKI, Maria Cristina. Grandes projetos hidrelétricos e território: um estudo comparativo de Paulo Afonso e Sobradinho. Dissertação de mestrado defendida no IPPUR/ UFRJ. 1994.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solos. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 2, p. 195-276, 2002.

TOLEDO, L.G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agrícola**, 59: 181-186, 2002.

VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. Porto Alegre: UFRGS, 2001. 196f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação Ciência do solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ZALAMENA, J. **Impacto do uso da terra nos atributos químicos e físicos de solos do rebordo do planalto – RS**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

### **3. CAPÍTULO 1: INDICADORES FÍSICOS DE QUALIDADE DE SOLOS SOB USO AGRÍCOLA NA REGIÃO DE ENTORNO DO LAGO DE SOBRADINHO - BA**

#### **RESUMO**

A conversão de uma condição natural para uma condição de uso agrícola pode impor mudanças em atributos, propriedades e processos do solo, podendo causar dificuldades de uso e manejo e trazer conseqüências ambientais para a região de sua abrangência. Assim, objetivou-se com este trabalho definir indicadores físicos de qualidade do solo na região de entorno do Lago de Sobradinho, nos municípios baianos de Sobradinho, Casa Nova, Remanso e Sento Sé, por meio de técnicas estatísticas multivariadas. Inicialmente aplicaram-se as análises estatísticas descritiva e de correlação e o teste de normalidade que serviram como pressupostos para a realização da análise fatorial e a estimativa dos escores fatoriais, com base nos quais determinou-se o índice de qualidade física de solo, para as profundidades do solo de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente, em que o principal objetivo foi classificar os solos como bom, regular e ruim, de acordo com o desempenho dos seus atributos físicos. Em seguida, realizou-se a análise discriminante com o objetivo de validar os resultados obtidos a partir dos índices construídos com os resultados da análise fatorial, bem como, conhecer os atributos físicos do solo que influenciam e estão associados à qualidade do solo na área agrícola da região em estudo. Dentre os principais resultados pôde-se observar que densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) foram os atributos que se destacaram como indicadores de qualidade do solo pois apresentaram maior peso relativo nos modelos de discriminação dos sítios amostrados: Ds, Ma e Mi nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m e Mi e Ds na camada de 0,20-0,40 m sugerindo que nas condições estudadas essas variáveis são as principais responsáveis pela qualidade física dos solos. A inserção da Mi no modelo de discriminação sugere alterações no solo pelo uso agrícola, que possivelmente não seriam identificadas com a determinação de outro atributo. No geral, a qualidade física do solo não é considerada ideal, fato que pode ser atribuído às práticas de manejo adotadas e, sobretudo, aos baixos níveis de matéria orgânica e à textura extremamente arenosa, conferindo fragilidade aos solos da região.

**Termos de indexação: análise estatística multivariada, atributos físicos, semiárido nordestino, preparo de solo.**

### **SUMMARY**

The conversion of a natural condition for a condition for agricultural use may impose changes in attributes, properties and soil processes, may cause difficulties in the use and management and bring environmental consequences for the region of its range. Thus, the aim of this work was to define the physical indicators of soil quality in the area surrounding Lake Sobradinho, in the municipalities of Bahia Sobradinho, Casa Nova, Remanso and Sento Sé, through multivariate statistical techniques. Initially we applied descriptive statistical analysis and correlation and normality test that served as prerequisites for the realization of the factor analysis and the estimation of factor scores, based on which we determined the index of physical quality of the soil, to the depths of solo 0.0-0,10 , 0.10-0.20 and 0.20-0.40 m , respectively , in which the main objective was to classify soils as good, fair and poor , according to the performance of their physical attributes . Then there was the discriminant analysis in order to validate the results obtained from the indexes built on the results of the factor analysis, as well as knowing the physical soil attributes that influence and are associated with soil quality in agriculture the area under study. Among the main results we observed that bulk density (BD), macroporosity (Ma) and micro (Mi) were the attributes that stand out as indicators of soil quality and had heavier relative weight in models of discrimination of sites sampled: BD, Ma and Mi the layers 0.0-0.10 and 0.10-0.20 Mi and BD in the 0.20-0.40 m layer suggesting that under the conditions studied these variables are primarily responsible for the physical quality soil. The integration of the Mi discrimination model suggests changes in the soil for agricultural use, which may not be identified by the determination of another attribute. Overall, the physical quality of the soil is not considered ideal, which can be attributed to the adopted management practices and, especially, low levels of organic matter and texture extremely sandy, giving the fragile soils of the region.

**Index terms: multivariate statistical analysis, physical attributes, semi-arid northeast, soil preparation.**

## INTRODUÇÃO

A implantação de sistemas agrícolas em áreas ocupadas por vegetação nativa ou em processo de regeneração pode acarretar alterações em propriedades e processos de ordem física, química e biológica no solo. Essa mudança de um ambiente natural para algum tipo de exploração ocorre inicialmente pela retirada da vegetação e exposição do solo e, num segundo momento, de acordo com Corrêa et al. (2010) pela aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas, tráfego de máquinas e alteração do regime hídrico nas bacias hidrográficas.

A cobertura vegetal se relaciona de forma harmoniosa com os atributos do solo e, a sua remoção causa redução nos processos de ciclagem de nutrientes e aceleração da decomposição da matéria orgânica, modificando características físicas como densidade, estrutura e porosidade (CARNEIRO et al., 2009; PORTUGAL et al., 2010) e distribuição de agregados (PORTUGAL et al., 2010), comprometendo o suprimento de água, a aeração, a disponibilidade de nutrientes, a atividade microbiana e a penetração de raízes, dentre outros (REINERT e REICHERT, 2006).

De maneira geral, em sistemas agrícolas com prática de monocultivo intensivo pode ocorrer rápida degradação do solo devido ao preparo periódico com sucessivas mobilizações alterando a sua estrutura, sendo observado o fracionamento dos agregados maiores em agregados menores e, por conseguinte, ocasionando alterações indesejáveis como aumento na resistência à penetração e na densidade do solo e redução na macroporosidade e na taxa de infiltração de água (SPERA et al., 2009). Essas modificações no solo, muitas vezes, reduzem a sua qualidade (DEXTER, 2004). Nesse sentido, a qualidade física do solo é afetada diretamente pela intensidade do uso, como encontrado por Corrêa et al. (2009) em estudo sobre qualidade física de solos de textura arenosa sob diferentes usos agrícolas no semiárido nordestino. Os autores constataram redução da qualidade dos solos com a intensificação do uso, ou seja, comparando-se fruticultura e pastagem com cultivo de ciclo curto. Estes atribuíram o fato ao menor aporte de resíduos vegetais, bem como, a maior mobilização do solo. Por outro lado, mata nativa apresentou melhor qualidade na profundidade quando comparado com os outros usos, fato atribuído possivelmente a não mobilização do solo.

A qualidade física do solo está relacionada com a sustentabilidade de sistemas agropecuários e a sua avaliação deve ser realizada através de indicadores que reflitam o seu comportamento (PEREIRA et al., 2011). Segundo Reynolds et al. (2002) esses indicadores físicos exercem função de sustentação do solo e a sua avaliação encontra-se em processo de expansão, uma vez que é observada relação entre a melhoria da qualidade física e conseqüentemente melhoria na qualidade química e biológica do solo (DEXTER, 2004; ARAÚJO et al., 2007). Dessa forma, os principais indicadores físicos apontados por Araújo et al. (2012) são: textura, densidade do solo, porosidade total, resistência à penetração, estabilidade de agregados, capacidade de retenção de água e condutividade hidráulica.

O estudo da qualidade do solo por meio de indicadores pode ser realizado utilizando-se técnicas estatísticas de análise multivariada, a qual tem ampla importância em estudos de análise exploratória de dados, sendo empregada no agrupamento de amostras segundo sua similaridade, bem como na seleção de variáveis de maior importância na discriminação de grupos pré-selecionados (BENITES et al., 2010). O uso da análise multivariada permite avaliar um conjunto de atributos e mostrar resultados independentes na forma de índices de qualidade, sendo, portanto, instrumento para a tomada de decisão (MARCHESAN et al., 2011).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade física do solo em áreas agrícolas dos municípios do entorno do lago de Sobradinho-BA, tendo como ferramenta técnicas estatísticas de análise multivariada.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Local**

O estudo foi realizado nos municípios de Sobradinho, Casa Nova, Remanso e Sento Sé, localizados no entorno do lago de Sobradinho no estado da Bahia. Pela classificação de Köppen o clima é do tipo BSw<sup>h</sup> (clima quente e semiárido) com chuvas anuais variando de 500 a 900 mm. A vegetação predominante é a do tipo caatinga hiperxerófila. O entorno do lago caracteriza-se pela intensa atividade agropecuária com destaque para a agricultura irrigada com o cultivo de oleráceas, principalmente a cebola, e fruticultura irrigada com destaque na produção de

banana, uva e manga. Na pecuária destacam-se a criação de caprinos, ovinos, gados de corte e de leite.

### Seleção de propriedades agrícolas

Foram selecionadas 24 propriedades rurais em função da intensidade e do tempo de uso com atividades agrícolas e da proximidade do lago de Sobradinho. As propriedades rurais selecionadas por município, com suas respectivas classes de solo e uso agrícola estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades rurais selecionadas por município, com suas respectivas classes de solo e uso agrícola.

Município	Propriedade	Classe de solo	Uso agrícola
Sobradinho	Santa Luzia	Luvissolo Crômico	cebola, manga e melão
	Tribo Trucá	Argissolo Amarelo Distrófico plúntico	banana
	Fzda. Santa Rita	Cambissolo Háptico Eutrófico	melancia
	Fzda. São Joaquim	Cambissolo Háptico Distrófico	melancia
Casa Nova	Malvão	Argissolo Amarelo Distrófico	cebola
	Caraíbas - Olegário	Latossolo Amarelo Distrófico	cebola
	Caraíbas – Élson	Neossolo Quartzarênico	cebola e melancia
	Sítio Santa Rita - Pau a Pique	Planossolo Háptico	tomate
	Marcos Túlio - Pau a Pique	Argissolo Amarelo Eutrófico	feijão, mandioca e milho.
	Sítio Caróa - Bem Bom	Neossolo Quartzarênico	capim, mandioca e banana.
	Alfredo Viana - Angical	Cambissolo Háptico	cebola
Remanso	Fzda. Salgadinha	Neossolo Quartzarênico	ovinos e bovinos
	Canaã	Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico	mandioca
	Major	Neossolo Quartzarênico	mandioca
	Vila Aparecida	Latossolo Amarelo Distrófico	banana e milho
Sento Sé	João/ Brejo de Fora	Planossolo Háptico Eutrófico	cebola e capim
	Brejo de Fora	Cambissolo Háptico	melancia
	Paulo César - Riacho dos Paes	Argissolo Amarelo Distrófico	melancia
	Paulo Isaac - Riacho dos Paes	Argissolo Amarelo Distrófico	cebola
	Taytson/ Riacho dos Paes	Argissolo Amarelo Distrófico	cebola
	Piri	Neossolo Quartzarênico	cebola

Piri	Neossolo Quartzarênico órtico	cebola
Adão/ Café de Rosa	Argissolo Amarelo distrófico	cebola e melão
Gibinho/Malvinas	Argissolo Amarelo distrófico	melancia e feijão

### **Coleta de amostras de solo**

As amostras de solos deformadas e indeformadas foram coletadas nas profundidades de 0,00–0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. Para coleta das amostras deformadas, dividiu-se a área agrícola de cada propriedade em três subáreas de amostragem, sendo coletadas 10 amostras simples para constituir uma amostra composta, perfazendo 3 amostras compostas por profundidade e por subárea. Para coleta das amostras indeformadas foram abertas trincheiras.

### **Indicadores físicos de solo**

Foram realizadas as análises: granulométrica (método da pipeta) e argila dispersa em água (ADA) (RUIZ, 2005) e de densidade do solo (Ds) pelo método da proveta (EMBRAPA, 2011). O grau de flocculação (GF) foi calculado conforme Embrapa (2011). A porosidade total (Pt), a Macroporosidade (Ma) e a Microporosidade (Mi) foram estimadas por modelo matemático (Stolf et al., 2011) utilizando-se os dados de Ds e do teor de areia. A determinação da percentagem de agregados, por classes de diâmetro médio, foi realizada submetendo-se as amostras de solo ao peneiramento úmido, (KIEHL, 1979), com posterior cálculo dos diâmetros médio ponderado (DMP) e médio geométrico (DMG) segundo Castro Filho et al (1998). De acordo com este autor, o índice DMP é tanto maior quanto maior for a percentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores e o DMG é uma estimativa do tamanho da classe de agregados de maior ocorrência.

### **Análise estatística**

Os resultados analíticos foram avaliados por análise de correlação de Pearson e análise descritiva, considerando os parâmetros de posição, média e mediana e dispersão, valores mínimos e máximos, desvio padrão e coeficiente de variação. A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) ( $p \leq 0,05$ ). Essas análises foram realizadas com objetivo de avaliar se os dados apresentam normalidade e linearidade, identificar outliers e observar se a matriz de correlação apresenta valores significativos que, de acordo com Pestana e Gageiro (2005), Hair et al. (2005) e Ho (2006) são suposições para realização da análise fatorial. Em seguida, os dados foram submetidos a análises por técnicas de estatística multivariada utilizando-se as análises: fatorial (AF) e discriminante (AD).

A AF foi realizada utilizando-se a análise de componentes principais (ACP) como método de extração. Os eixos foram rotacionados pelo método Varimax e estabeleceu-se para este estudo o valor de 0,65 para cargas fatoriais significativas.

O Índice de Qualidade Física do Solo (IQFS) foi definido como uma combinação dos escores fatoriais e a proporção da variância explicada por cada fator em relação à variância comum explicada pelo conjunto de fatores de acordo com Pamplona (2011) e calculado a partir da equação 1:

$$IQFS = \sum_{j=1}^q \left( \frac{\lambda_j}{\sum_j \lambda_j} (FP_{ij}) \right), i=1, 2, n \quad (1)$$

em que  $\lambda_j$  é a variância explicada por cada fator,  $\sum_j \lambda_j$  é a soma total da variância explicada pelo conjunto de fatores comuns e  $FP_{ij}$  é o escore fatorial padronizado. O escore fatorial é padronizado para se obter valores positivos dos escores originais e permitir a classificação dos solos (Pamplona, 2011), uma vez que os valores do IQFS estão situados entre zero e um, sendo obtido pela equação 2:

$$FP_i = \left( \frac{F_i - F_{min}}{F_{max} - F_{min}} \right) \quad (2)$$

em que  $F_{min}$  e  $F_{max}$  são, respectivamente, os valores mínimo e máximo observados para os escores fatoriais associados aos solos.

Para interpretação dos resultados, foram estabelecidos os seguintes intervalos de valores do IQFS, agrupando os solos conforme seu grau de qualidade: valores do IQS igual ou superior a 0,60 são considerados bons; valores situados entre 0,35 e 0,59 são regulares; valores inferiores a 0,35 são considerados ruins. Esses intervalos foram ajustados a partir de SANTANA (2007).

A AD foi utilizada com objetivo de validar os resultados obtidos na construção dos IQFS e a divisão prévia dos solos em grupos (bom, regular e ruim), verificando-se a consistência dos grupos e quais as variáveis que mais contribuíram para a sua formação. Após a definição das variáveis discriminantes, procedeu-se a determinação das funções discriminantes (combinações lineares das variáveis) importantes na análise das contribuições desses atributos e que representem as diferenças entre os grupos. Para isso, utilizou-se o método Stepwise e a seleção das variáveis foi realizada pelo método de lambda de Wilks, o qual testa a existência de diferenças de médias entre os grupos para cada variável. Aumento no seu valor, que varia de 0 a 1, indica ausência de diferença entre os grupos.

As análises estatísticas dos dados foram realizadas com o auxílio do software estatístico STATISTICA 5.0 (STATSOFT, 1995).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva e o teste KS para os atributos físicos do solo determinados, respectivamente, nas camadas de 0,00–0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20–0,40 m estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Estatística descritiva e teste KS para atributos físicos do solo nas camadas de 0,00 – 0,10 m, 0,10 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m.

Parâmetros	ARG	SIL	ARE	DMG	DMP	Ds	Ma	Mi	Pt	ADA	GF
	-----g kg <sup>-1</sup> -----			-----mm-----	kg m <sup>-3</sup>		-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----		----g kg <sup>-1</sup> ----		
<b>0,00-0,10 m</b>											
Média	130,98	47,24	802,56	0,92	1,50	1,51	0,16	0,28	0,44	11,33	899
Mediana	109,44	31,95	842,36	0,87	1,48	1,53	0,16	0,27	0,44	8,36	927
Desvio Padrão	71,75	41,78	84,04	0,35	0,78	0,07	0,03	0,02	0,03	8,67	86
CV(%)	54,78	88,44	10,47	3,26	52,00	4,64	18,75	7,14	6,82	76,52	9,57
Mínimo	39,78	0,63	568,00	0,38	0,31	1,37	0,09	0,24	0,38	1,08	528
Máximo	386,00	175,48	935,30	1,78	3,04	1,66	0,23	0,34	0,51	45,24	991
Normalidade	0,20*	0,16*	0,13*	0,11*	0,11*	0,10*	0,05*	0,11*	0,98*	0,17*	0,16*
<b>0,10-0,20 m</b>											
Média	135,36	45,23	819,41	0,96	1,45	1,51	0,16	0,28	0,44	11,88	893
Mediana	123,96	36,50	832,63	0,83	1,31	1,52	0,17	0,27	0,44	9,71	933
Desvio Padrão	66,55	38,29	81,88	0,46	0,80	0,07	0,03	0,02	0,03	7,87	99
CV(%)	49,17	84,66	9,99	47,92	55,17	4,64	18,75	7,14	6,82	66,25	11,09
Mínimo	41,16	2,10	573,20	0,44	0,29	1,31	0,09	0,24	0,39	0,58	484
Máximo	388,80	195,14	941,76	2,60	3,33	1,65	0,23	0,33	0,53	38,67	992
Normalidade	0,11*	0,16*	0,12*	0,17*	0,12*	0,09*	0,08*	0,12*	0,10*	0,17*	0,20*
<b>0,20-0,40 m</b>											
Média	159,16	51,05	789,78	0,83	1,25	1,53	0,15	0,29	0,44	14,79	893
Mediana	165,83	36,55	798,43	0,77	1,20	1,53	0,15	0,29	0,43	11,85	924
Desvio Padrão	68,65	42,85	90,00	0,30	0,61	0,08	0,04	0,02	0,03	10,25	101
CV(%)	43,13	83,94	11,40	36,14	48,80	5,23	26,67	6,90	6,82	69,30	11,31
Mínimo	55,04	0,58	566,40	0,43	0,37	1,32	0,05	0,24	0,35	0,38	345
Máximo	356,50	169,21	929,65	1,96	3,12	1,76	0,22	0,33	0,52	64,94	995
Normalidade	0,08*	0,18*	0,12*	0,14*	0,08*	0,07*	0,07*	0,09*	0,08*	0,13*	0,25*

\* distribuição normal pelo teste de Kolmogorov – Smirnov  $p(<0,05)$ . CV.: coeficiente de variação. ARG: argila; SIL: silte; ARE=areia; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; Ds: densidade do solo; Ma= macroporosidade; Mi = microporosidade; Pt: porosidade total; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de floculação.

Em relação à composição granulométrica, em média, os solos apresentam classe textural variando de arenosa a franco-arenosa (Tabela 2). Tal fato é comum

na região em estudo em função do material de origem dos solos relacionados ao Pré-Cambriano com cobertura pedimentar constituída por materiais arenosos, areno-argilosos, argilo-arenosos e material macroclástico, principalmente concreções ferruginosas e seixos de quartzo (CUNHA et. al., 2008).

Os índices DMG e DMP apresentaram elevada variação entre os valores mínimos e máximos e, os valores médios podem ser considerados baixos (Tabela 2), o que provavelmente se deve à textura arenosa do solo, ao baixo aporte de resíduos vegetais e ao baixo conteúdo de MO, e ao processo de revolvimento do solo (COSTA et al., 2003; BEUTLER et al., 2004; MARCOLAN e ANGHINONI, 2006).

A Ds apresentou valores máximos acima de  $1,65 \text{ kg dm}^{-3}$  (Tabela 2), fato este que pode ser restritivo para o desenvolvimento radicular de algumas culturas segundo Reinert e Reichert, (2006), embora Araújo et al. (2004) apontem uma faixa mais ampla de valores de Ds considerada normal para solos arenosos, variando de  $1,35$  a  $1,85 \text{ kg dm}^{-3}$ . Porém, os valores médios estão dentro da faixa adequada para solos arenosos, visto que para cada classe textural de solo há uma densidade crítica, a partir da qual a resistência torna-se tão elevada que diminui ou impede o crescimento de raízes e reduz a capacidade de armazenamento de água no solo (CINTRA e MIELNICZUCK, 1983; FERREIRA, 2010). Portanto, segundo Martins et al., (2009) a densidade tem sido usada como medida da qualidade do solo devido às suas relações intrínsecas com outros atributos, como porosidade, umidade do solo, condutividade hidráulica, além de ser um importante índice do grau de compactação de um solo (REICHARDT e TIMM, 2008).

A Pt apresentou valores médios normais ( $0,44 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) nas 3 profundidades, dentro da faixa de valores encontrados por Cunha et al. (2011) como sendo de  $0,44$  a  $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para solos de textura franco arenosa. Os valores mínimos apresentam-se abaixo do limite mínimo ( $0,44 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), fato que pode repercutir negativamente no processo de troca gasosa do solo e no aumento da resistência à penetração e, por conseguinte, no desenvolvimento radicular, afetando a produtividade vegetal. De acordo com Curi e Kampf (2012), a porosidade total depende, principalmente, da textura e do teor de MO que, influenciam no tipo de estrutura e, sobretudo pelo manejo que altera o conteúdo de MO e desagrega e compacta o solo.

Os valores médios de Ma e Mi nas 3 profundidades apresentaram redução e aumento, respectivamente, das camadas de  $0,00-0,10$  e  $0,10-0,20$  m para a camada

de 0,20-0,40 m, podendo ser devido o efeito do manejo do solo com alteração da estrutura pelo revolvimento, fato que, segundo Aguiar (2008), pode ter o efeito benéfico de incrementar a água retida nos microporos, porém frequentemente reduz a percolação de água no perfil e, conseqüentemente, afeta sobremaneira a disponibilidade de água.

Em relação aos valores médios de GF ocorreu redução da camada de 0,00 - 0,10 m para as camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, como encontrado por Aguiar (2008). Tal fato, possivelmente, pode ser atribuído a menor incorporação de matéria orgânica e de corretivos em profundidade.

Os valores dos coeficientes de correlação entre atributos físicos estão apresentados na Tabela 3. Observa-se a existência de valores significativos na matriz de correlação que, de acordo com Pestana e Gageiro (2005), Hair et al. (2005) e Ho (2006) são suposições para realização da AF.

Tabela 3. Valores de correlação entre atributos físicos do solo nas camadas de 0,00 – 0,10, 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m.

Parâmetros	DMG	DMP	Ds	Ma	Mi	Pt	ARG	SIL	ARE	ADA	GF
<b>0,00-0,10 m</b>											
DMG	1,00										
DMP	0,96*	1,00									
Ds	-0,13	-0,08	1,00								
Ma	0,40*	0,37*	-0,85*	1,00							
Mi	-0,53*	-0,55*	-0,11	-0,44*	1,00						
Pt	0,01	-0,05	-0,98*	0,71*	0,32*	1,00					
ARG	-0,39*	-0,42*	-0,47*	0,01	0,78*	0,62*	1,00				
SIL	-0,18	-0,20	-0,12	-0,16	0,50*	0,22	0,01	1,00			
ARE	0,43*	0,47*	0,44*	0,10	-0,94*	-0,63*	-0,87*	-0,49*	1,00		
ADA	-0,17	-0,18	-0,05	-0,05	0,16	0,08	0,20	-0,06	-0,16	1,00	
GF	-0,12	-0,10	-0,05	-0,11	0,28*	0,11	0,31*	0,03	-0,27*	-0,73*	1,00
<b>0,10-0,20 m</b>											
DMG	1,00										
DMP	0,91*	1,00									
Ds	0,14	0,10	1,00								
Ma	0,12	0,17	-0,86*	1,00							
Mi	-0,48*	-0,50*	-0,18	-0,35*	1,00						
Pt	-0,22	-0,19	-0,98*	0,74*	0,37*	1,00					
ARG	-0,38*	-0,38*	-0,52*	0,08	0,80*	0,65*	1,00				
SIL	-0,33*	-0,34*	-0,20	-0,13	0,60*	0,31*	0,16	1,00			
ARE	0,46*	0,47*	0,52*	0,00	-0,93*	-0,68*	-0,89*	-0,60*	1,00		
ADA	-0,16	-0,26*	0,04	-0,14	0,21	0,01	0,06	0,27*	-0,17	1,00	
GF	-0,06	0,03	-0,16	0,03	0,23	0,20	0,39*	-0,13	-0,26*	-0,76*	1,00

0,20-0,40 m											
DMG	1,00										
DMP	0,89*	1,00									
Ds	-0,07	-0,12	1,00								
Ma	0,23	0,31*	-0,88*	1,00							
Mi	-0,35*	-0,43*	0,03	-0,50*	1,00						
Pt	0,00	0,02	-0,98*	0,76*	0,18	1,00					
ARG	-0,15	-0,20	-0,38*	-0,05	0,79*	0,54	1,00				
SIL	-0,39*	-0,43*	-0,15	-0,19	0,67*	0,28	0,26*	1,00			
ARE	0,30*	0,36*	0,36*	0,13	-0,92*	-0,55	-0,89*	-0,68*	1,00		
ADA	-0,09	-0,14	0,04	-0,09	0,12	-0,02	0,13	-0,01	-0,09	1,00	
GF	0,01	0,01	-0,13	-0,03	0,30*	0,19	0,33*	0,17	0,33*	-0,82*	1,00

\*Significativo ao nível de 5 % de probabilidade. DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; Ds: densidade do solo; Ma= macroporosidade; Mi = microporosidade; Pt: porosidade total; ARG: argila ; SIL: silte ; ARE=areia; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de flocculação.

Observa-se correlação forte e positiva entre os índices DMP e DMG ( $r = 0,96$ ,  $r = 0,91$  e  $r = 0,89$ , respectivamente, para as camadas 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m) e negativa entre ADA e GF ( $r = -0,73$ ,  $r = -0,76$  e  $r = -0,82$ , respectivamente, para as camadas 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m) (Tabela 3). Em relação à Pt observou-se correlação forte e negativa com a Ds ( $r = -0,98$  para todas as camadas). Observou-se correlação forte e negativa entre Mi e ARE que pode ser ao predomínio das frações areia média e grossa nos solos avaliados.

A matriz das cargas fatoriais rotacionadas dos atributos físicos está apresentada na Tabela 4. As primeiras colunas referem-se às cargas fatoriais para cada atributo em cada fator. A última coluna fornece o valor das comunalidades, indicando o quanto da variância de cada atributo é explicada pelos fatores juntos. Verifica-se que, em todas as camadas, todos os atributos possuem forte relação com os fatores retidos, pois tem elevadas comunalidades. Os autovalores indicam a importância relativa de cada fator na explicação da variância associada ao conjunto de atributos analisados extraíndo os fatores na ordem de sua importância. Cargas fatoriais significativas e com sinais opostos indicam variação conjunta, porém em direção oposta.

Tabela 4. Matriz de cargas fatoriais após rotação ortogonal pelo Método Varimax para os dados de atributos físicos do solo nas camadas de 0,00 – 0,10, 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m.

Atributo	Fator	Comunalidade
----------	-------	--------------

	1	2	3	
	Porosidade	Agregados	Floculação	
<b>0,00-0,10 m</b>				
DMG	0,11	<b>0,91</b>	0,04	0,85
DMP	-0,16	<b>0,90</b>	0,01	0,83
DS	<b>-0,96</b>	-0,25	0,01	0,98
Ma	<b>0,70</b>	0,63	0,07	0,90
Mi	0,19	<b>-0,85</b>	-0,14	0,77
PT	<b>0,92</b>	0,05	-0,04	0,85
ARG	<b>0,86</b>	-0,34	-0,15	0,88
SIL	0,66	-0,30	0,01	0,53
ARE	<b>-0,89</b>	0,38	0,10	0,95
ADA	0,30	-0,25	<b>0,84</b>	0,87
GF	0,17	-0,15	<b>-0,96</b>	0,98
Autovalor	4,67	3,22	2,46	10,35
% Variância	38,93	26,86	20,49	86,28
<b>0,10-0,20 m</b>				
DMG	-0,01	<b>-0,89</b>	-0,10	0,81
DMP	-0,15	<b>-0,86</b>	0,10	0,78
DS	<b>-0,99</b>	0,10	-0,04	0,99
Ma	<b>0,80</b>	-0,48	0,01	0,88
Mi	0,08	<b>0,87</b>	0,14	0,78
PT	<b>0,91</b>	0,13	0,11	0,86
ARG	<b>0,85</b>	0,35	0,20	0,88
SIL	0,58	0,52	-0,21	0,65
ARE	<b>-0,85</b>	-0,45	-0,08	0,93
ADA	0,25	0,27	<b>-0,84</b>	0,85
GF	0,19	0,13	<b>0,96</b>	0,97
Autovalor	4,99	2,78	2,57	10,33
% Variância	41,60	23,14	21,38	86,12
<b>0,20-0,40 m</b>				
DMG	0,20	<b>0,82</b>	-0,01	0,70
DMP	-0,08	<b>0,85</b>	0,11	0,74
DS	<b>-0,92</b>	-0,33	-0,05	0,96
Ma	0,67	0,64	-0,06	0,86
Mi	0,13	<b>-0,82</b>	0,27	0,76
PT	<b>0,89</b>	0,17	0,12	0,84
ARGILA	<b>0,85</b>	-0,24	0,18	0,81
SILTE	0,61	-0,47	0,18	0,63
AREIA	<b>-0,87</b>	0,36	-0,21	0,93
ADA	0,23	-0,19	<b>-0,86</b>	0,83
GF	0,26	-0,13	<b>0,94</b>	0,97
Autovalor	4,63	3,21	2,18	10,02
% Variância	38,61	26,78	18,15	83,54

DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; DS: densidade do solo; Ma= macroporosidade; Mi = microporosidade; Pt: porosidade total; ARG: argila ; SIL: silte ; ARE=areia; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de floculação.

Observa-se que o fator 1, denominado porosidade do solo, que explica a maior parcela de variância total dos dados, foi composto pelos atributos Ds e teor de areia variando juntas e em direção oposta à Ma, à Pt e ao teor de argila, para as camadas 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, com 38,93%, 41,60% e 38,61% da variância total dos dados (Tabela 4). O fator 2, denominado agregados, foi composto de maneira diferenciada entre as camadas. De 0,00-0,10 e de 0,20-0,40 m, DMG e DMP variam juntos e em direção oposta à microporosidade; enquanto de 0,10-0,20 m, somente a microporosidade compôs este fator. O fator 3, denominado grau de floculação, foi composto pelos atributos AD e GF variando em direção oposta, para as camadas 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, com 20,49%, 21,38% e 18,15% da variância total dos dados.

Os escores fatoriais estimados na AF, para os dados de atributos físicos dos solos coletados foram padronizados e, com base nos quais se determinaram os IQFS. A partir destes classificaram-se os solos de acordo com o desempenho dos seus atributos físicos, importantes para a sustentabilidade dos sistemas de produção, em função dos intervalos definidos no material e métodos.

Na camada de 0,00 – 0,10 m, apenas 2 solos foram classificados como Bom (IQFS $\geq$ 0,60), representado pelo Argissolo; 8 como Regular (0,60.>IQFS>0,35), representado por Luvisolo, Plintossolo, Argissolo, Neossolo, Latossolo e Planossolo; e 16 como Ruim (IQFS $\leq$ 0,35), representado pelo Latossolo, Neossolo, Argissolo, Cambissolo e Planossolo. Na camada de 0,10 – 0,20 m, 3 solos foram classificados como Bom, representado pelas classes Planossolo, Cambissolo e Argissolo; 17 como Regular, representado pelo Luvisolo, Plintossolo, Argissolo, Cambissolo, Neossolo e Latossolo e 5 como Ruim, representado pelo Latossolo, Argissolo, Planossolo e Neossolo. Na camada de 0,20 – 0,40 m, 2 solos foram classificados como bom, representado pelo Argissolo; 16 como Regular, representado pelas classes Argissolo, Latossolo e Cambissolo; e 8 como Ruim, representado pelo Argissolo, Neossolo; Cambissolo e Planossolo.

Assim, praticamente todos os solos nas 3 profundidades foram classificados como de qualidade Ruim ou Regular, fato que pode ser atribuído, principalmente, a predominância de solos de textura muito arenosa, implicando em baixa estabilidade de agregados, porosidade total composta predominantemente por macroporos e baixa capacidade de retenção de água, o que os tornam mais suscetíveis à degradação física, reduzindo, assim, a sua qualidade.

A Tabela 5 apresenta as principais características dos solos de cada grupo de classificação, sendo consideradas apenas as variáveis que foram significativas nos fatores 1 e 2 da matriz de cargas fatoriais (DMP, DMG, Ds, Ma, Mi, Pt, ARG e ARE) pois estes são responsáveis pelo maior peso na classificação das variáveis.

Tabela 5. Resumo das características físicas dos solos incluídos nos grupos de qualidade Bom, Regular e Ruim, a partir dos IQFS.

	BOM	REGULAR	RUIM
DMP (mm)	1,45-1,60	1,45-1,00	<1,00
DMG (mm)	1,45-1,60	1,45-1,00	<1,00
Ds (kg m <sup>-3</sup> )	1,20-1,40	1,40-1,55	>1,55
Ma (m <sup>-3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,20-0,25	0,17-0,20	<0,17
Mi (m <sup>-3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,20-0,25	0,17-0,20	<0,17
Pt (m <sup>-3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,40-0,50	0,35-0,40	<0,35
ARG (g kg <sup>-1</sup> )	0,35-0,45	0,35-0,20	<0,20
ARE (g kg <sup>-1</sup> )	0,40-0,60	0,60-0,80	>0,80

DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; Ds: densidade do solo; Ma: macroporosidade; Mi: microporosidade; Pt: porosidade total; ARG: argila ; ARE: areia.

A realização da técnica da AD com o objetivo de validar os resultados obtidos na construção dos índices, bem como, conhecer os atributos físicos do solo, que influenciam e estão associados à qualidade dos solos estudados está apresentada na tabela 6 com os valores de lambda de Wilks e da estatística F.

Tabela 6. Atributos Físicos incluídos na Análise por meio do procedimento Stepwise, valores de Lambda de Wilks e estatística F nas camadas de 0,00 – 0,10, 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m.

Atributo	Lambda de Wilks	F	Significância
<b>0,00-0,10 m</b>			
DMP	0,00	1,03	0,38
Ds	0,04	67,05	0,00
Ma	0,04	73,52	0,00
Mi	0,12	242,78	0,00
ARG	0,01	1,29	0,30
ADA	0,00	0,52	0,60
<b>0,10-0,20 m</b>			
DMG	0,10	25,57	0,00
DMP	0,09	20,93	0,00
Ds	0,06	12,63	0,00
Ma	0,05	8,04	0,00
Mi	0,06	10,09	0,00

ADA	0,06	10,57	0,00
<b>0,20-0,40 m</b>			
DMG	0,03	5,08	0,02
DMP	0,02	4,90	0,02
DS	0,02	4,52	0,03
Mi	0,03	7,72	0,00
Arg	0,03	7,40	0,00
ADA	0,04	14,55	0,00

DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; Ds: densidade do solo; Ma: macroporosidade; Mi: microporosidade; ARG: argila; ADA: argila dispersa em água.

Observa-se que na camada de 0,00-0,10 m os atributos Mi, Ma e Ds foram os que mais contribuíram para a discriminação dos grupos, com destaque para Mi (maior valor de  $F$ ) (Tabela 6). Já na camada de 0,10-0,20 m destacaram-se como atributos discriminantes, o DMG e o DMP e, na camada de 0,20-0,40 m, destacou-se a ADA (Tabela 6). Apesar da não significância para os atributos DMP, ARG e ADA, estes foram mantidos no modelo para melhorar sua capacidade discriminante.

Tendo em vista a tendência de variação da fração areia nos solos estudados, de fina e muito fina a média e grossa, como encontrado por Queiroz (2013), observa-se na camada superficial (0,0-0,10 m) a influência marcante da fração areia na determinação da densidade do solo. Ou seja, a fração é diretamente proporcional ao valor de densidade do solo, sendo, possivelmente muito influente às características pedogenéticas desses solos em detrimento ao cultivo intensivo.

Na camada de 0,10-0,20 m os índices DMG e DMP apresentaram-se mais sensíveis provavelmente em função do manejo e mobilização do solo que altera a estrutura nessa profundidade, e a alta variabilidade de classes de solos estudadas na região com comportamentos diferentes quanto à distribuição de tamanho de agregados. Sendo assim, Queiroz (2013) observou comportamento distinto na distribuição de agregados maiores de 2 mm entre as classes Neossolo Quartzarênico, Argissolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo Háptico sob a mesma região deste estudo.

A AD destacou-se como variável discriminante na profundidade de 0,20-0,40 m, evidenciando elevada variação do teor nessa camada, provavelmente em função da alta diversidade de classes de solos estudados, como encontrado por Queiroz (2013) quando observou na mesma região deste estudo, maiores valores de GF em Cambissolo Háptico e Argissolo Vermelho-Amarelo, o que indica pouca mobilidade das argilas nesses solos, como também maior resistência à dispersão. Já

nos perfis do Planossolo Háplico e do Argissolo Amarelo o GF, principalmente no horizonte A, é menor do que nos horizontes subjacentes, o que pode ser explicado pela baixa quantidade de argila desses horizontes, como encontrado nesse trabalho.

Na Tabela 7 são apresentados os valores dos coeficientes de classificação da função discriminante linear de Fisher nas camadas de 0,00–0,10 m; 0,10–0,20 m e 0,20–0,40 m.

Tabela 7. Coeficientes de Classificação da função Discriminante Linear de Fisher para os Dados de Atributos Físicos nas camadas de 0,00–0,10, 0,10–0,20 e 0,20–0,40 m.

Atributo	Classificação		
	Bom	Regular	Ruim
<b>0,00-0,10 m</b>			
DMP	-186,46	-201,22	-199,27
Ds	80971,64	87449,87	87310,04
Ma	201954,38	218138,77	217924,57
Mi	118528,79	128916,46	128811,06
Arg	8,49	8,86	8,82
ADA	-3,99	-4,65	-4,55
Constante	-87578,72	-102305,71	-102030,26
<b>0,10-0,20 m</b>			
DMG	2341,93	2266,23	2354,03
DMP	-936,69	-907,45	-950,56
Ds	9396,21	9162,93	9036,69
Ma	28699,25	28031,32	28101,00
Mi	20144,81	19694,48	20342,84
ADA	4,65	4,43	2,95
Constante	-12969,96	-12342,13	-12372,94
<b>0,20-0,40 m</b>			
DMG	-172,05	-137,44	2,32
DMP	66,95	59,05	7,45
DS	598,84	534,42	420,38
Mi	2581,06	2390,33	1142,47
Arg	-0,63	-0,56	-0,12
ADA	5,53	4,65	2,41
Constante	-841,71	-701,35	-393,63

DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; Ds: densidade do solo; Ma: macroporosidade; Mi: microporosidade; ARG: argila ; ADA: argila dispersa em água.

Observa-se que nas profundidades de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m as variáveis de maior poder discriminante dentro do modelo foram Ma, Mi e Ds e na camada de

0,20-0,40 m foram Mi e Ds (Tabela 7). A inclusão da variável Mi no modelo discriminante para a área agrícola sugere que esta variável permite a observação de alterações no solo ocasionadas pelo uso agrícola. Alterações estas que não foram possíveis de serem identificadas pela determinação de outras variáveis.

Esses modelos permitem fazer observações futuras com o objetivo de verificar a relação entre manejo do solo e a sustentabilidade de sistemas agrícolas, no tempo, por meio da obtenção dos seus atributos físicos do solo e substituição nas respectivas funções discriminantes e, assim, classificar os grupos quanto a sua qualidade física, sendo, portanto, importante para a tomada de decisão, bem como na previsão de cenários futuros.

## **CONCLUSÕES**

A Ds, Ma e a Mi foram atributos que melhor se destacaram como indicadores de qualidade do solo, em que a Ma foi o atributo de maior peso relativo nos modelos de discriminação dos sítios amostrados nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m e a Mi e Ds na camada de 0,20-0,40 m, sugerindo que nas condições estudadas essas variáveis são as principais responsáveis pela qualidade física dos solos.

A inclusão da Mi no modelo de discriminação dos sítios amostrados sugere que o uso dessa variável permite a observação de alterações no solo que não são possíveis de serem identificadas pela determinação de outras variáveis físicas como a Ds e a estabilidade de agregados.

No geral, a qualidade dos solos avaliados no entorno do lago de Sobradinho-BA não é considerada ideal, fato atribuído ao manejo adotado e, sobretudo, à textura extremamente arenosa.

## **LITERATURA CITADA**

AGUIAR, M.I.V. Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais. 2008.79 f. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas) – Universidade federal de Viçosa.

ARAÚJO, E.A. KER, J.C. NEVES, J.C.L. LANI, J.L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, 5: 187-206, 2012.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31: 1099-1108, 2007.

ARAÚJO, M.A.; TORMENA C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28: 337 - 345, 2004.

BENITES, V.M.; MOUTTA, R.O.; COUTINHO, H.L.C.; BALIEIRO, F.C. Análise discriminante de solos sob diferentes usos em área de mata atlântica a partir de atributos da matéria orgânica. **Revista Árvore**, 34: 685-690, 2010.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; ROQUE, C.G. Relação entre alguns atributos físicos e a produção de grãos de soja e arroz sequeiro em Latossolos. **Ciência Rural**, 34: 365-371, 2004.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33: 147-157, 2009.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistema de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22: 527-38, 1998.

CINTRA, F.L.D.; MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 7: 323-7, 1983.

CORRÊA, R. M.; M. B. G. S.; FERREIRA, R. L. C.; FREIRE, F. J.; PESSOA, L. G. M.; MIRANDA, M. A.; MELO, D. V. M. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33: 305-314, 2009.

CORRÊA, R.M. FREIRE, M.B.G. FERREIRA, R.L.C. SILVA, J.A.A. PESSOA, L.G.M. MIRANDA, M.A. MELO, D.V.M. Atributos físicos de solos sob diferentes usos com irrigação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 14: 358–365, 2010.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas semeadura direta e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27: 527 - 537, 2003.

CUNHA, T. J. F.; SILVA, F. H. B. B. da.; SILVA, M. S. L. da.; PETRERE, V. G.; SÁ, I. B. OLIVEIRA NETO, M. B. de. CAVALCANTI, A. C. Solos do Submédio do Vale do

São Francisco: potencialidades e limitações para uso agrícola. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2008. (Embrapa Semiárido. Documentos, 211).

CURI, N.; KÄMPF, N. Caracterização do solo. In: KER, J. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P., eds. Pedologia: fundamentos. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. cap. 5, p. 147-170.

CUNHA, E. Q. da; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E.P. de B.; DIDONET, A. D.; Leandro, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I - Atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:589-602, 2011.

DEXTER, A.R. Soil physical quality - Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120: 201-214, 2004.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. revista Rio de Janeiro, 2011. 225 p.

FERREIRA, M. M. Caracterização Física do Solo. In: VAN LIER, Q. J., ed. Física do Solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. cap. 1, p. 1-28.

HAIR Jr., J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. Análise Multivariada de Dados. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HO, R. Handbook of Univariate and Multivariate Data Analysis and Interpretation with SPSS. Boca Raton: Chapman e Hall, 2006.

KIEHL, J. Manual de Edafologia. Editora Agronômica Ceres, Ltda. São Paulo – SP, 1979. 263p.

MARCOLAN, A.L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de cultura de acordo com o crescimento em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30: 163-170, 2006.

MARTINS, M. V.; PASSOS, E.; CARVALHO, M.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Correlação linear e espacial entre a produtividade do feijoeiro e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 31: 147-154, 2009.

MARCHESAN, T. M.; SOUZA, A. M.; MENEZES, R. Avaliação do processo de ensino: uma abordagem multivariada. *Prod. [online]*. V.21, n.2, pp. 271-283, 2011.

PAMPLONA, V.M.S. Índices de Qualidade do Solo para Plantação de Açaí. 2011. Dissertação (Mestrado em Matemática e Estatística), PPGME, UFPA, Belém, Pará, Brasil.

PESTANA, M.H.; GAGEIRO, J.N. Análise de Dados para Ciências Sociais: A complementaridade do SPSS. 4.ed. Lisboa: Edições Sílabo, 2005.

PEREIRA, F.S.; ANDRIOLI, I.; PEREIRA, F.S.; OLIVEIRA, P.S.; CENTURION, J.F.; FALQUETO, R.J.; MARTINS, A.L.S. Qualidade física de um latossolo vermelho

submetido a sistemas de manejo avaliado pelo índice S. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35: 87-95, 2011.

PORTUGAL, A. F.; JUNCKSH, I.; SHAEFER, C. E. R. G.; NEVES, J. C. L. Estabilidade de agregados em argissolo sob diferentes usos, comparado com mata. *Revista Ceres*, 57: 545-553, 2010.

QUEIROZ, A. F. de. Caracterização e classificação de solos do município de Casa Nova-BA para fins de uso, manejo e conservação. 2013. 75p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró - RN, 2013.

REINERT, D.J; REICHERT, J.M. Propriedades físicas do solo. Universidade federal de Santa Maria. Centro de ciências rurais. Santa Maria- RS, 2006.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2008.

REYNOLDS, W.D. et al. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma*, 110: 131-146, 2002.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise Granulométrica do solo por meio da Coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29: 297-300, 2005.

SANTANA, A.C. Índice de Desempenho Competitivo das Empresas de Polpa de Frutas do Estado do Pará. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 45: 749-775, 2007.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S. & TOMM, G.O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33: 129-136, 2009.

STOLF, R.; THURLER, A. M.; BACCHI, O. O. S.; REICHARDT, K. Method to estimate soil macroporosity and microporosity based on sand content and bulk density. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35: 447-459, 2011.

STATSOFT. Statistica for Windows – computer program manual. Tulsa, UK: StatSoft, 1995.

#### **4. CAPÍTULO 2: INDICADORES QUÍMICOS DE QUALIDADE DE SOLOS SOB USO AGRÍCOLA NA REGIÃO DO ENTORNO DO LAGO DE SOBRADINHO - BA**

##### **RESUMO**

A implantação de atividades econômicas como os sistemas agrícolas, resultantes de ações antrópicas, muitas vezes, sem nenhum planejamento, pode provocar mudanças em atributos químicos do solo, podendo trazer drásticas consequências ambientais para a sua região de abrangência. Assim, objetivou-se com este trabalho definir índices de qualidade química do solo na região de entorno do Lago de Sobradinho, nos municípios baianos de Sobradinho, Casa Nova, Remanso e Sento Sé, por meio de técnicas estatísticas multivariadas. Aplicou-se a estatística descritiva e de correlação, além do teste de normalidade com o objetivo de verificar se os dados atendem aos pressupostos para aplicação da estatística multivariada, a partir da AF, que com base nos escores fatoriais, determinou-se o índice de qualidade química de solo (IQQS), para as profundidades do solo de 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente, classificando os solos como bom, regular e ruim, de acordo com o desempenho dos seus atributos. Em seguida, realizou-se a análise discriminante (AD) com o objetivo de validar os resultados obtidos, bem como, conhecer os atributos químicos do solo, que influenciam e estão associados à qualidade do solo na área agrícola da região. Dessa maneira, dentre os principais resultados pôde-se observar que os atributos PST, teores de Na e de MO se destacaram como indicadores de qualidade do solo: PST e teor de MO foram os atributos de maior peso relativo nos modelos de discriminação dos sítios amostrados em área sob uso agrícola nas profundidades de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m; e 0,20-0,40 m, respectivamente. No geral, a qualidade química dos solos da região do entorno do lago não é considerada adequada, tendo em vista que a maior parte destes foi classificada como de qualidade ruim, fato atribuído principalmente à textura muito arenosa e ao manejo adotado.

Termos de indexação: análise estatística multivariada, atributos químicos, semiárido nordestino, preparo do solo.

## SUMMARY:

The deployment of economic activities such as farming systems, resulting from human activities, often without any planning, can cause changes in soil chemical properties and can bring drastic environmental consequences for your region covered. Thus, the aim of this work was to define indices of soil quality in the area surrounding Lake of Sobradinho, in the cities of Bahia: Sobradinho, Casa Nova, Remanso and Sento Sé, through multivariate statistical techniques. Applied to descriptive statistics and correlation, also normality test in order to verify that the data meet the assumptions for multivariate application from the AF, which based on the factor scores, we determined the rate of chemical quality soil (RCQS) for soil depths of 0.0-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.40 m, respectively, classifying soils as good, regular and poor, according to the performance of their attributes. Then there was the discriminant analysis (DA) in order to validate the results obtained, as well as knowing the soil chemical properties that influence and are associated with soil quality in agriculture in the region. Thus, among the main results it was observed that the attributes PST, levels of Na and MO stood out as indicators of soil quality: PST and OM content were the attributes of greater relative models of discrimination of the sites sampled in area under agricultural use at depths of 0.0-0.10 and 0.10-0.20 m, and 0.20-0.40 m, respectively. Overall, the chemical quality of the soils of the area surrounding the lake is not considered appropriate, given that most of these were classified as poor quality, which was attributed mainly to the very sandy texture and soil management.

**Index terms: multivariate statistical analysis, the chemical, semi-arid northeast, soil preparation.**

## INTRODUÇÃO

Do ponto de vista agrícola, a qualidade do solo pode ser conceituada como a capacidade desse recurso exercer várias funções, dentro dos limites do uso da terra e do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter ou melhorar a qualidade ambiental e contribuir para a saúde das plantas, dos animais e dos homens (GOEDERT e OLIVEIRA, 2007). Uma boa qualidade do solo, além de garantir a capacidade produtiva dos agroecossistemas, é importante também para a preservação de outros serviços ambientais essenciais, incluindo o fluxo e a qualidade da água, a biodiversidade e o equilíbrio de gases atmosféricos (LOPES e GUILHERME, 2007). Além disso, pode ser considerada sob três aspectos: físico, químico e biológico, sendo importantes nas avaliações da extensão da degradação ou melhoria do solo e para identificar a sustentabilidade dos sistemas de manejo (ARATANI et al., 2009).

A intervenção antrópica através da implantação de sistemas agrícolas, por exemplo, pode trazer uma série de impactos negativos sobre o solo, em consequência da adoção de um modelo de agricultura galgado em práticas que não priorizam o uso racional e a sustentabilidade. Estes impactos constantemente observados em diversos estudos na região do semiárido nordestino (CAUSAPÉ et al., 2004; D'ALMEIDA et al., 2005; CORRÊA et al., 2010), são considerados resultantes da combinação entre o manejo da agricultura e às características do ambiente como um todo, que acarretam e aceleram em conjunto o desenvolvimento de processos de degradação física e química, resultantes, principalmente, do emprego de sistemas de irrigação (sulcos e inundação) de baixa eficiência; utilização demasiada de fertilizantes químicos, e, em muitos casos, condições de drenagem natural desfavorável que, somado à elevada demanda evapotranspirativa e o baixo índice pluviométrico, têm acelerado o processo de salinização dessas áreas, repercutindo negativamente com alterações de atributos físicos e químicos do solo

Desse modo, a avaliação da qualidade de solos agrícolas deve ser realizada estabelecendo-se índices de qualidade para identificar problemas de produção nas áreas agrícolas, fazer estimativas realistas da produção de alimentos, monitorar mudanças na sustentabilidade e qualidade ambiental em relação ao manejo agrícola (PEDROTTI e MÉLLO JÚNIOR, 2009), por meio da comparação entre solos nativos e aqueles já modificados pelo uso (ARAÚJO et al., 2007).

O uso de métodos estatísticos multivariados tem se revelado uma ferramenta poderosa na avaliação da qualidade de solos, tendo em vista que se aplica e permite realizar pesquisas com o intuito de estudar um grande número de variáveis, agrupar segundo sua similaridade, bem como selecionar as de maior poder de discriminação dos grupos pré-selecionados (BENITES et al., 2010; PAMPLONA, 2011).

Diante disso, por se tratar de um estudo de caráter inovador no sentido de acrescentar informações importantes como subsídio para a melhoria do manejo local, utilizando-se técnicas de estatística multivariada como ferramenta, objetivou-se com este trabalho, avaliar a qualidade química do solo em áreas sob uso agrícola de quatro municípios do entorno do Lago de Sobradinho, BA.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Local**

O estudo foi realizado nos municípios de Sobradinho, Casa Nova, Remanso e Sento Sé, localizados no entorno do lago de Sobradinho no estado da Bahia. Pela classificação de Köppen o clima é do tipo BSw<sup>h</sup> (clima quente e semiárido) com chuvas anuais variando de 500 a 900 mm. A vegetação predominante é a do tipo caatinga hiperxerófila. O entorno do lago caracteriza-se pela intensa atividade agropecuária com destaque para a agricultura irrigada com o cultivo de oleráceas, principalmente a cebola, e fruticultura irrigada com destaque na produção de banana, uva e manga. Na pecuária destacam-se a criação de caprinos, ovinos, gados de corte e de leite.

### **Seleção de propriedades agrícolas**

Foram selecionadas 24 propriedades rurais em função da intensidade e do tempo de uso com atividades agrícolas e da proximidade do lago de Sobradinho. As propriedades rurais selecionadas por município, com suas respectivas classes de solo e uso agrícola estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades rurais selecionadas por município, com suas respectivas classes de solo e uso agrícola.

Município	Propriedade	Classe de solo	Uso agrícola
Sobradinho	Santa Luzia	Luvissolo Crômico	cebola, manga e melão
	Tribo Trucá	Argissolo Amarelo Distrófico plúntico	banana
	Fzda. Santa Rita	Cambissolo Háptico Eutrófico	melancia
	Fzda. São Joaquim	Cambissolo Háptico Distrófico	melancia
Casa Nova	Malvão	Argissolo Amarelo Distrófico	cebola
	Caraíbas – Olegário	Latossolo Amarelo Distrófico	cebola
	Caraíbas – Élson	Neossolo Quartzarênico	cebola e melancia
	Sítio Santa Rita - Pau a Pique	Planossolo Háptico	tomate
	Marcos Túlio - Pau a Pique	Argissolo Amarelo Eutrófico	feijão, mandioca e milho
	Sítio Caróa - Bem Bom	Neossolo Quartzarênico	capim, mandioca e banana.
	Alfredo Viana - Angical	Cambissolo Háptico	cebola
	Fzda. São Vitor - Angical	Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico	cebola
Remanso	Fzda. Salgadinha	Neossolo Quartzarênico	ovinos e bovinos
	Canaã	Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico	mandioca
	Major	Neossolo Quartzarênico	mandioca
	Vila Aparecida	Latossolo Amarelo Distrófico	banana e milho
Sento Sé	João/ Brejo de Fora	Planossolo Háptico Eutrófico	cebola e capim
	Brejo de Fora	Cambissolo Háptico	melancia
	Paulo César - Riacho dos Paes	Argissolo Amarelo Distrófico	melancia
	Paulo Isaac - Riacho dos Paes	Argissolo Amarelo Distrófico	cebola
	Taytson/Riacho dos Paes	Argissolo Amarelo Distrófico	cebola
	Piri	Neossolo Quartzarênico	cebola
	Piri	Neossolo Quartzarênico órtico	cebola
	Adão/ Café de Rosa	Argissolo Amarelo distrófico	cebola e melão
Gibinho/Malvinas	Argissolo Amarelo distrófico	melancia e feijão	

### Coleta de amostras de solo

As amostras de solos foram coletadas nas profundidades de 0,00–0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. Para isso, dividiu-se a área agrícola de cada propriedade em três subáreas de amostragem, sendo coletadas 10 amostras simples para constituir uma amostra composta, perfazendo 3 amostras compostas por profundidade e por subárea.

### Indicadores químicos de solo

A determinação do teor de matéria orgânica do solo (MO) e a quantificação dos teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e potássio (K) seguiram a metodologia descrita em EMBRAPA (2011), sendo o Ca e o Mg determinados pela espectrometria de absorção atômica (EAA), e o Na e o K determinados por fotometria de chama. A determinação do potencial hidrogeniônico (pH) foi realizada eletronicamente por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo:água (1:2,5). A determinação da condutividade elétrica (CE) foi realizada por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo:água (1:2,5). A determinação do Fósforo (P) foi realizada utilizando a solução extratora de Mehlich1, constituída por uma mistura de HCl 0,05M + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125M.

### **Análise estatística**

Os resultados analíticos foram avaliados por análises de correlação de Pearson e de análise descritiva, considerando os parâmetros de posição, média e mediana e de dispersão, valores mínimos e máximos, desvio padrão e coeficiente de variação. A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) ( $p \leq 0,05$ ). Essas análises foram realizadas com objetivo de avaliar se os dados apresentam normalidade e linearidade, identificar outliers e observar se a matriz de correlação apresenta valores significativos que, de acordo com Pestana e Gageiro (2005), Hair et al. (2005) e Ho (2006) são suposições para realização da análise fatorial (AF). Em seguida, os dados foram submetidos a análises por técnicas de estatística multivariada utilizando-se AF e Análise Discriminante (AD). A AF foi realizada utilizando-se a análise dos componentes principais (ACP) como método de extração, os eixos foram rotacionados pelo método Varimax e estabeleceu-se para este estudo o valor de 0,65 para cargas fatoriais significativas.

O Índice de Qualidade químico do Solo (IQQS) foi definido como uma combinação dos escores fatoriais e a proporção da variância explicada por cada fator em relação à variância comum e de acordo com metodologia adaptada por Pamplona (2011) e calculado a partir da equação (1):

$$IQS = \sum_{j=1}^q \left( \frac{\lambda_j}{\sum_j \lambda_j} (FP_{ij}) \right), i=1, 2, \dots, n$$

(1)

em que  $\lambda_j$  é a variância explicada por cada, fator  $\sum_j \lambda_j$  é a soma total da variância explicada pelo conjunto de fatores comuns e  $FP_{ij}$  é o escore fatorial padronizado. O escore fatorial é padronizado para se obter valores positivos dos

escores originais e permitir a classificação dos solos (Pamplona, 2011), uma vez que os valores do IQS estão situados entre zero e um, sendo obtido pela equação 2:

$$FP_i = \left( \frac{F_i - F_{min}}{F_{max} - F_{min}} \right)$$

(2)

em que  $F_{min}$  e  $F_{max}$  são, respectivamente, os valores mínimo e máximo observados para os escores fatoriais associados aos solos.

Para interpretação dos resultados, foram estabelecidos intervalos de valores do IQQS, agrupando os solos conforme seu grau de qualidade: valores do IQQS igual ou superior a 0,60 são considerados bons; valores situados entre 0,35 e 0,59 são regulares; valores inferiores a 0,35 são considerados ruins. Esses intervalos foram ajustados a partir dos definidos por Santana (2007).

A AD foi utilizada com objetivo de validar os resultados obtidos na construção dos IQS e a divisão prévia dos solos em grupos (bom, regular e ruim), verificando se esses grupos se apresentavam consistentes e quais as variáveis que mais contribuíram para a sua formação. Após a definição das variáveis discriminantes, procedeu-se a determinação das funções discriminantes (combinações lineares das variáveis) importantes na análise das contribuições desses atributos e que representem as diferenças entre os grupos. Para isso, utilizou-se o método Stepwise e a seleção das variáveis foi realizada pelo método de lambda de Wilks, o qual testa a existência de diferenças de médias entre os grupos para cada variável. Aumento no seu valor, que varia de 0 a 1, indica ausência de diferença entre os grupos.

As análises estatísticas dos dados foram realizadas com o auxílio do software estatístico STATISTICA 5.0 (STATSOFT, 1995).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva e o teste KS para os atributos químicos do solo nas camadas de 0,00-0,10m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, respectivamente, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Estatística descritiva e teste KS para atributos químicos do solo nas camadas de 0,00 – 0,10 m, 0,10 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m.

Parâmetros	MO	pH	CE	P	K	Ca	Mg	Na	Al	CTC	PST
	gkg <sup>-1</sup>		dS.m <sup>-1</sup>	mgdm <sup>-3</sup>	-----cmolcdm <sup>-3</sup> -----						
<b>0,00-0,10 m</b>											
Média	6,42	5,83	0,18	36,79	0,42	2,66	0,83	0,06	0,10	6,98	0,79
Mediana	5,08	5,72	0,08	24,56	0,26	1,65	0,62	0,03	0,05	5,76	0,58
Desvio Padrão	5,25	0,83	0,26	47,51	0,46	2,50	0,66	0,08	0,10	3,66	0,91
CV(%)	81,84	14,29	145,68	129,11	113,94	93,93	79,50	129,92	96,02	52,44	115,31
Mínimo	1,14	4,56	0,01	1,72	0,06	0,35	0,10	0,01	0,00	2,12	0,13
Máximo	27,10	7,95	1,07	307,99	2,30	11,00	3,60	0,44	0,55	19,10	6,89
Normalidade	0,16*	0,12*	0,31*	0,23*	0,29*	0,21*	0,22*	0,31*	0,28*	0,19*	0,28*
<b>0,10-0,20 m</b>											
Média	4,60	5,77	0,13	27,16	0,34	2,33	0,75	0,06	0,17	6,45	0,85
Mediana	3,57	5,63	0,07	12,17	0,21	1,35	0,60	0,03	0,08	5,46	0,59
Desvio Padrão	3,33	0,95	0,15	46,02	0,38	2,39	0,59	0,10	0,20	3,48	1,30
CV(%)	72,38	16,43	115,99	169,44	112,08	102,57	78,35	171,01	120,57	53,96	152,61
Mínimo	0,62	4,39	0,02	0,65	0,05	0,31	0,15	0,01	0,00	2,90	0,17
Máximo	13,14	7,95	0,69	316,20	1,90	10,20	3,30	0,80	1,00	18,67	10,80
Normalidade	0,13*	0,11*	0,25*	0,28*	0,31*	0,24*	0,21*	0,31*	0,28*	0,17*	0,29*
<b>0,20-0,40 m</b>											
Média	3,05	5,71	0,10	21,20	0,31	2,19	0,74	0,05	0,21	6,12	0,84
Mediana	1,71	5,59	0,06	5,46	0,18	1,15	0,50	0,03	0,05	5,00	0,60
Desvio Padrão	2,76	0,96	0,12	43,24	0,38	2,34	0,67	0,07	0,25	3,52	0,89
CV(%)	90,47	16,80	116,97	203,95	120,13	106,97	90,43	123,83	119,41	57,57	104,89
Mínimo	0,10	4,20	0,02	0,79	0,06	0,27	0,14	0,01	0,00	1,02	0,20
Máximo	12,62	7,92	0,66	301,14	2,10	10,30	3,40	0,45	1,15	19,20	6,80
Normalidade	0,19*	0,08*	0,28*	0,31*	0,30*	0,26*	0,25*	0,32*	0,27*	0,18*	0,23*

\* distribuição normal pelo teste de Kolmogorov – Smirnov  $p(<0,05)$ . CV.: coeficiente de variação. MO: Matéria orgânica; pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade elétrica; P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Na: Sódio ; PST: Percentagem de sódio trocável ; Al: Alumínio; CTC: capacidade de troca de cátions.

Os solos da região apresentam classe textural variando de arenosa a franco-arenosa, em função do material de origem relacionado ao Pré-Cambriano com cobertura pedimentar constituída por materiais arenosos, areno-argilosos, argilo-arenosos e material macroclástico, principalmente concreções ferruginosas e seixos de quartzo (CUNHA et. al., 2008).

Em relação à MO, o solo apresentou teores médios e máximos diminuindo com a profundidade das camadas avaliadas, podendo ser atribuído a menor

incorporação da mesma ao longo do perfil. De acordo com Alvarez et al (1999), os teores foram classificados como Baixo, Baixo e Muito baixo, respectivamente para as camadas de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m (Tabela 1).

Tanto os valores de pH bem como os teores de P, K, Ca e Mg decresceram com a profundidade (Tabela 1) fato que pode ser atribuído à adubação química em cobertura (a lanço) sem incorporação e aos baixos níveis de MO em profundidade.

Segundo Alvarez et al (1999), considerando os teores médios, o pH está dentro da faixa de classificação agrônômica considerada boa em termos agrícolas; o P apresenta teor considerado Bom, Médio e Médio, respectivamente, para as camadas de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, considerando que a maior parte os solos estudados apresentam textura arenosa (teor de argila menor que 15%); o Ca apresenta teor considerado Bom na camada de 0,00-0,10 m e Médio de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m; o Mg apresenta teor considerado médio em todas as camadas; e o K apresenta teor considerado Médio na camada de 0,00-0,10 m e Baixo nas camadas de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m.

De modo geral, os teores médios de Ca e Mg estão acima da faixa encontrada por Costa et al. (2004) em estudo para caracterização de solos afetados por sais na bacia do Rio Cabugí - RN, na profundidade de 0,00 – 0,30 cm, que foram de 5,08 e 2,19 ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ), respectivamente, teores estes, segundo Mendes et al., (2011), não restritivos a nutrição mineral das plantas. Já os valores médios de K em todas as camadas, segundo Boyer (1973), citado por Malavolta (1976) não são considerados limitantes, pois representam porcentagens superiores a 2,0% - 2,5% da CTC, sendo a redução em profundidade possivelmente influenciada pela adubação em cobertura (a lanço) e, de acordo com Mendes et al., (2011), associado ao fato da baixa mobilidade deste nutriente. Embora, os teores médios dos macronutrientes acima estejam considerados adequados do ponto de vista agrícola, os teores máximos apresentam-se muito elevados, bem como para o teor médio de P, em todas as camadas, (Tabela 1) alertando para um processo de adubação química indiscriminada. O excesso na adição de elementos químicos via adubação aliado a solos de textura franco arenosa e arenosa facilitam o processo de lixiviação com contaminação de águas subterrâneas e superficiais.

Em relação aos valores de PST, estes se apresentaram de maneira diferenciada em profundidade, com aumento do valor médio da camada 0,00-0,10 m para as camadas 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, que foram de 0,79, 0,85 e 0,84,

respectivamente. Além disso, como os valores de PST, em todas as camadas, foram inferiores a 15%, e os de pH e CE inferiores a 8,5 e 4,0, respectivamente, os solos podem ser classificados como normais quanto à salinidade, representando uma baixa porcentagem de Na em relação aos demais íons (GHEYI et al., 2010).

Em relação ao teor de Al, o aumento em profundidade pode estar associado à aplicação de calcário sem incorporação, que, devido a redução da velocidade e a ação de contato entre o corretivo e o solo, ocorre tendência de aumento dos teores de Ca, Mg e pH próximo a superfície do solo, sendo este comportamento semelhante ao que ocorre em sistema plantio direto com adubação de cobertura (MARCOLAN, 2002; GATIBONI et al., 2003).

A CTC efetiva apresentou valores médios dentro da faixa classificada como Boa em todas as profundidades avaliadas (Tabela 1) segundo Alvarez et al (1999). Observa-se que os maiores valores da CTC foram apresentados nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m em relação à camada de 0,20-0,40 m, proporcional aos teores de Ca, Mg, K trocáveis e MO, que decresceram com o aumento da profundidade. A MO em solos arenosos exerce um papel importante na CTC, tanto que em sistemas conservacionistas como o plantio direto, observa-se maior aporte de MO e elevação da CTC, quando comparado à diferentes usos e manejos do solo como o sistema natural e pastagem, preparo convencional, respectivamente, como encontrado por Cavalcante et al. (2007).

Os valores dos coeficientes de correlação dos atributos químicos em área agrícola nas camadas de 0,00–0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20–0,40 m, respectivamente, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores de correlação dos atributos químicos do solo em área agrícola nas camadas de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, respectivamente.

Parâmetros	MO	pH	CE	P	K	Ca	Mg	Na	PST	Al	CTC
<b>0,00 – 0,10 m</b>											
MO	1,00										
pH	-0,04	1,00									
CE	0,08	0,08	1,00								
P	0,06	0,10	0,58*	1,00							
K	0,13	0,15	0,83*	0,49*	1,00						
Ca	0,29*	0,40*	0,67*	0,58*	0,73*	1,00					
Mg	0,35*	0,36*	0,47*	0,23	0,61*	0,78*	1,00				
Na	0,06	-0,06	0,71*	0,36*	0,71*	0,56*	0,43*	1,00			
PST	-0,13	-0,18	0,40*	0,15	0,31*	0,11	0,03	0,83*	1,00		

Al	0,02	-0,62*	-0,17	-0,23*	-0,23	-0,36*	-0,34*	0,01	0,12	1,00	
CTC	0,46*	0,16	0,64*	0,49*	0,75*	0,91*	0,80*	0,58*	0,10	-0,17	1,00
<b>0,10 – 0,20 m</b>											
MO	1,00										
pH	-0,04	1,00									
CE	0,29*	-0,03	1,00								
P	0,32*	0,13	0,59*	1,00							
K	0,43*	0,23	0,70*	0,55*	1,00						
Ca	0,40*	0,39*	0,61*	0,59*	0,82*	1,00					
Mg	0,38*	0,32*	0,39*	0,18	0,73*	0,77*	1,00				
Na	0,15	-0,11	0,72*	0,19	0,38*	0,34*	0,36*	1,00			
PST	0,01	-0,18	0,57*	0,07	0,14	0,07	0,10	0,94*	1,00		
Al	0,06	-0,61*	-0,16	-0,23	-0,26*	-0,34*	-0,31*	-0,05	-0,01	1,00	
CTC	0,48*	0,20	0,60*	0,50*	0,82*	0,92*	0,83*	0,39*	0,10	-0,15	1,00
<b>0,20 – 0,40 m</b>											
MO	1,00										
pH	0,10	1,00									
CE	0,48*	0,00	1,00								
P	0,46*	0,11	0,58*	1,00							
K	0,71*	0,26*	0,63*	0,59*	1,00						
Ca	0,66*	0,42*	0,61*	0,63*	0,87*	1,00					
Mg	0,54*	0,35*	0,36*	0,29*	0,68*	0,79*	1,00				
Na	0,44*	-0,04	0,77*	0,27*	0,53*	0,49*	0,49*	1,00			
PST	0,12	-0,07	0,59*	0,06	0,14	0,08	0,10	0,86*	1,00		
Al	0,01	-0,63*	-0,17	-0,21	-0,25*	-0,37*	-0,30*	-0,15	-0,12	1,00	
CTC	0,73*	0,15	0,62*	0,56*	0,86*	0,91*	0,82*	0,56*	0,10	-0,15	1,00

\*Significativo ao nível de 5 % de probabilidade. MO: Matéria orgânica; pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade elétrica; P: Fósforo; K = Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Na: Sódio ; PST: percentagem de sódio trocável ; Al: Alumínio; CTC: capacidade de troca de cátions.

Observa-se correlação forte e positiva entre a MO e pH com K, Ca e Mg. Observa-se que quanto maior o teor de MO, ou seja, mais próximo a superfície, maior os teores de K, Ca e Mg. Observa-se correlação forte e positiva entre PST e Na em todas as camadas, sendo os valores de 0,83, 0,94 e 0,86 nas profundidades 0,00–0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20–0,40 m, respectivamente, fato que pode ser atribuído à textura mais arenosa dessas camadas, bem como, a relação com o manejo da irrigação. Costa et al. (2004) estudaram o comportamento dos valores de PST em setores sob diferentes tempos de irrigação, e verificaram que nos setores com maior tempo existe a tendência de aumento destes valores.

A Tabela 3 apresenta a matriz das cargas fatoriais rotacionadas dos atributos químicos para as camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20–0,40 m, respectivamente.

Tabela 3. Matriz de cargas fatoriais após rotação ortogonal pelo Método Varimax para os dados de atributos químicos do solo em área sob uso agrícola nas camadas de 0,00–0,10, 0,10–0,20 e 0,20–0,40 m, respectivamente.

Atributo	Fator			Comunalidade
	1	2	3	
<b>0,00-0,10 m</b>				
MO	-0,09	-0,46	0,58	0,57
Ph	<b>0,90</b>	-0,23	0,13	0,88
P	0,31	0,38	0,44	0,43
K	0,17	0,51	<b>0,70</b>	0,78
Ca	0,41	0,19	<b>0,86</b>	0,95
Mg	0,29	0,02	<b>0,87</b>	0,84
Na	-0,02	<b>0,84</b>	0,50	0,95
PST	-0,07	<b>0,85</b>	0,05	0,73
CTC	0,12	0,17	<b>0,96</b>	0,96
Autovalor	6,36	2,09	1,32	9,77
% Variância	53,02	17,45	10,97	81,44
<b>0,10-0,20 m</b>				
MO	0,45	-0,18	0,10	0,25
pH	0,14	-0,23	<b>0,90</b>	0,87
P	0,63	0,10	0,14	0,43
K	<b>0,86</b>	0,23	0,15	0,82
Ca	<b>0,92</b>	0,08	0,32	0,96
Mg	<b>0,82</b>	0,07	0,28	0,75
Na	0,34	<b>0,93</b>	-0,01	0,99
PST	-0,01	<b>0,97</b>	0,01	0,94
CTC	<b>0,96</b>	0,11	0,10	0,95
Autovalor	6,36	2,01	1,35	9,72
% Variância	53,00	16,75	11,28	81,04
<b>0,20-0,40 m</b>				
MO	0,48	0,22	-0,12	0,29
Ph	0,14	<b>0,93</b>	-0,15	0,90
P	<b>0,73</b>	0,10	0,02	0,55
K	<b>0,89</b>	0,14	0,17	0,84
Ca	<b>0,92</b>	0,35	0,10	0,99
Mg	<b>0,78</b>	0,36	0,18	0,77
Na	<b>0,46</b>	-0,01	<b>0,88</b>	0,99
PST	-0,01	0,09	<b>0,96</b>	0,93
CTC	<b>0,97</b>	0,06	0,16	0,97
Autovalor	6,53	1,91	1,50	9,94
% Variância	54,40	15,89	12,54	82,81

MO: Matéria orgânica; pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade elétrica; P: Fósforo; K = Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Na: Sódio ; PST: percentagem de sódio trocável ; Al: Alumínio; CTC: capacidade de troca de cátions.

As primeiras colunas referem-se às cargas fatoriais para cada atributo em cada fator. A última coluna fornece o valor das comunalidades, indicando o quanto da variância de cada atributo é explicada pelos fatores juntos. Verifica-se que, em

todas as camadas, todos os atributos possuem forte relação com os fatores retidos, pois tem elevadas comunalidades. Os autovalores indicam a importância relativa de cada fator na explicação da variância associada ao conjunto de atributos analisados extraíndo os fatores na ordem de sua importância. Cargas fatoriais significativas e com sinais opostos indicam variação conjunta, porém em direção oposta.

Observa-se que o fator 1, o qual explica a maior parcela de variância com 53,02%, 53% e 54% da variância total, para as camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente, foi composto de maneira diferenciada entre as camadas. De 0,00-0,10 m, somente o pH compôs esse fator; de 0,10-0,20 m, os teores de K, Ca, Mg e CTC variaram juntos e, de 0,20-0,40 m, os teores de P, Na, K, Ca, Mg e CTC variaram juntos. O fator 2 também foi composto de maneira diferenciada entre as camadas. De 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, Na e PST variaram juntos e; de 0,20-0,40 m, somente o pH compôs o fator 2.

Os escores fatoriais estimados na AF, para os dados de atributos químicos foram padronizados e, com base nos quais se determinaram os IQQS. A partir destes classificaram-se os solos de acordo com o desempenho dos seus atributos químicos, importantes para a sustentabilidade dos sistemas de produção.

Na área sob uso agrícola, na camada de 0,00 – 0,10 m, apenas 3 solos foram classificados como Bom ( $IQQS \geq 0,60$ ), 10 como Regular ( $0,60 > IQQS > 0,35$ ) e 14 como Ruim ( $IQQS \leq 0,35$ ). Na camada de 0,10 – 0,20 m, 3 solos foram classificados como Bom, 6 como Regular e 19 como Ruim. Na camada de 0,20 – 0,40 m, 4 solos foram classificados como bom, 5 como Regular e 18 como Ruim. Nas 3 profundidades, a 12% dos solos foram classificados como Bom; 26% como regular e 62% como de qualidade ruim. Isso se deve ao fato de a maioria dos solos serem arenosos, o que naturalmente aumenta a sua fragilidade quanto ao manejo (CARNEIRO et al., 2009), bem como, ao preparo periódico que implica em sucessivas mobilizações alterando a estrutura, sendo observado o fracionamento dos agregados maiores em agregados menores (SPERA et al., 2009). Neste caso, é possível que qualidade física tenha interferido diretamente na qualidade química do solo, haja vista a relação observada entre a melhora da qualidade física e conseqüentemente melhora na qualidade química e biológica do solo (DEXTER, 2004; ARAÚJO et al., 2007).

A Tabela 4 apresenta os valores de Lambda de Wilks e valores da estatística F em área sob uso agrícola, nas camadas de 0,00 - 0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, respectivamente.

Tabela 4. Atributos químicos incluídos na Análise por meio do procedimento Stepwise, valores de Lambda de Wilks e estatística F, em área agrícola nas camadas de 0,00 – 0,10, 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m.

Atributo	Lambda de Wilks	F	Significância
<b>0,00-0,10 m</b>			
MO	0,06	5,17	0,02
pH	0,04	2,00	0,17
K	0,05	4,08	0,04
Ca	0,06	6,29	0,01
Mg	0,06	4,49	0,03
Na	0,07	8,89	0,00
PST	0,08	10,10	0,00
CTC	0,06	4,95	0,02
V	0,04	1,89	0,18
<b>0,10-0,20 m</b>			
Ca	0,10	7,71	0,00
Mg	0,10	8,29	0,00
Na	0,11	9,71	0,00
PST	0,14	15,32	0,00
V	0,06	1,65	0,22
<b>0,20-0,40 m</b>			
MO	0,13	121,10	0,00
K	0,02	9,49	0,00
Ca	0,01	3,97	0,04
Mg	0,03	24,28	0,00
CTC	0,02	10,39	0,00
V	0,02	6,86	0,01

MO: Matéria orgânica; pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade elétrica; P: Fósforo; K = Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Na: Sódio ; PST: percentagem de sódio trocável ; Al: Alumínio; CTC: capacidade de troca de cátions; V: Percentagem por saturação de bases.

Observa-se que nas camadas de 0,00 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m os atributos PST e Na foram os que mais contribuíram para a discriminação dos grupos, com destaque para PST (maior valor de *F*) (Tabela 4). Já na camada de 0,20 - 0,40 m destacaram-se como atributos discriminantes, MO e Mg e, com maior poder discriminante MO (maior valor de *F*) (Tabela 4). Apesar da não significância para os demais atributos, estes foram mantidos no modelo para melhorar sua capacidade discriminante. Isto sugere para a melhoria do manejo dos solos agrícolas da região

no sentido de implementação de um manejo de irrigação, que aumente a frequência de irrigação e baixa vazão, como os sistemas de gotejamento e microaspersão, bem como o manejo da adubação voltado para garantir a incorporação e aumento dos níveis de MO em profundidade.

Na Tabela 5 são apresentados os valores dos coeficientes de classificação da função discriminante linear de Fisher para área sob uso agrícola, nas camadas de 0,00 - 0,10 m; 0,10 - 0,20 m e 0,20 - 0,40 m.

Tabela 5. Coeficientes de Classificação da função Discriminante Linear de Fisher para os Dados de Atributos químicos em área em área agrícola na camada de 0,00-0,10 m; 0,10 - 0,20 m e 0,20 - 0,40 m.

Atributo	Classificação		
	Bom	Regular	Ruim
<b>0,00-0,10 m</b>			
MO	-2,21	-2,31	0,12
pH	58,14	60,77	44,72
K	-37,37	-33,65	6,29
Ca	-45,96	-44,57	-16,82
Mg	-62,59	-61,65	-25,77
Na	695,51	674,69	-102,83
PST	-28,37	-25,83	18,90
CTC	35,08	34,63	16,16
V	0,19	0,01	-0,65
Constante	-203,18	-212,29	-158,93
<b>0,10-0,20 m</b>			
Ca	6,92	3,36	-0,54
Mg	24,94	9,64	4,99
Na	-222,78	-72,81	-4,94
PST	22,72	10,55	2,07
V	-0,04	0,19	0,23
Constante	-58,20	-25,09	-6,91
<b>0,20-0,40 m</b>			
MO	5,55	-1,31	-2,73
K	60,10	-35,44	-47,15
Ca	-3,94	-32,39	-36,77
Mg	57,97	-35,70	-54,89
CTC	-0,05	27,80	30,31
V	0,23	1,77	1,90
Constante	-160,93	-84,34	-69,64

---

MO: Matéria orgânica; pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade elétrica; P: Fósforo; K = Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Na: Sódio ; PST: percentagem de sódio trocável ; Al: Alumínio; CTC: capacidade de troca de cátions; V: Percentagem por saturação de bases.

O percentual de classificação das funções discriminantes para agrupamento dos solos em BOM, REGULAR e RUIM, na profundidade de 0,00-0,10 m, respectivamente, foi de 12%, 44% e 44%. Na profundidade de 0,10-0,20 m os percentuais foram de 15%, 21% e 64%; e na profundidade de 0,20-0,40 m, 16%, 18% e 66%, respectivamente.

Observa-se que nas profundidades de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m a variável de maior poder discriminante dentro do modelo foi o Na e na camada de 0,20-0,40 m foram K e Mg, o que evidencia a elevada variação desses atributos nas diversas classes de solo, sendo estas, portanto, consideradas bons indicadores de qualidade química de solo.

## CONCLUSÕES

Os atributos PST, Na e MO se destacaram como indicadores de qualidade do solo, em que PST foi o atributo de maior peso relativo nos modelos de discriminação dos sítios amostrados nas profundidades de 0,00 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m e MO na camada de 0,20 – 0,40 m sugerindo que nas condições estudadas essas variáveis são as principais responsáveis pela discriminação e classificação dos grupos.

No geral, do ponto de vista de qualidade química, esta não é considerada adequada, tendo em vista que a maior parte dos solos foi classificada como de qualidade ruim, fato que pode ser atribuído principalmente à textura extremamente arenosa e ao manejo impróprio do solo.

## LITERATURA CITADA

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendações para o uso de

corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.25-32.

ARATANI, R. G.; FREDDI, O. da S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:677-687, 2009.

ARAUJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. Qualidade do Solo sob Diferentes Usos e sob Cerrado Nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31: 1099-1108. 2007.

BENITES, V.M.; MOUTTA, R.O.; COUTINHO, H.L.C.; BALIEIRO, F.C. Análise discriminante de solos sob diferentes usos em área de mata atlântica a partir de atributos da matéria orgânica. **Revista Árvore**, 34: 685-690, 2010.

CAUSAPÉ, J.; QUÍLEZ, D.; ARAGUÉS, R. Assessment of irrigation and environmental quality at the hydrological basin level II. Salt and nitrate loads in irrigation return flows. **Agricultural Water Management**, 70: 211-18, 2004.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33: 147-157, 2009.

CAVALCANTE, E.G.S.; ALVES, M.C.; PEREIRA, G.T.; SOUZA, Z.M. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC sob diferentes usos e manejos. **Ciencia Rural**, 37: 1329 – 1339, 2007.

COSTA, D.M.; HOLANDA, J.S.; FILHO, O.A.F. Caracterização de solos quanto a afetação por sais na Bacia do rio Cabugí – Afonso Bezerra – RN. *Holos*, 2004.

CORRÊA, R.M. FREIRE, M.B.G. FERREIRA, R.L.C. SILVA, J.A.A. PESSOA, L.G.M. MIRANDA, M.A. MELO, D.V.M. Atributos físicos de solos sob diferentes usos com irrigação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 14: 358-365, 2010.

CUNHA, T. J. F.; SILVA, F. H. B. B. da.; SILVA, M. S. L. da.; PETRERE, V. G.; SÁ, I. B.; OLIVEIRA NETO, M. B. de.; CAVALCANTI, A. C. Solos do Submédio do Vale do São Francisco : potencialidades e limitações para uso agrícola. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2008. (Embrapa Semiárido. Documentos, 211).

D'ALMEIDA, D.M.B.A.; ANDRADE, E.M.; MEIRELES, A.C.M. Importância relativa dos íons na salinidade de um Cambissolo na Chapada do Apodi, Ceará. **Engenharia Agrícola**, 25: 615-21, 2005.

DEXTER, A.R. Soil physical quality - Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, 120: 201-214, 2004.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. revista Rio de Janeiro, 2011. 225 p.

GATIBONI, L.C. SAGGIN, A. BRUNETTO, G. HORN, D. FLORES, J.P.C. RHEINHEIMER, D.S. KAMINSKI, J. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem no sistema plantio direto consolidado. **Ciencia Rural**, 33: 283-290, 2003.

GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de (Ed.). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2010. 472 p. il.

GOEDERT, W.J.; OLIVEIRA, S.A. Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.991-1017.

HAIR Jr., J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. Análise Multivariada de Dados. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HO, R. Handbook of Univariate and Multivariate Data Analysis and Interpretation with SPSS. Boca Raton: Chapman e Hall, 2006.

LOPES, A.S; GUILHERME, L.R.G. 2007. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: Novais et al. (Eds). Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa-MG, p. 1-64.

MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola. nutrição de plantas e fertilidade do solo. São Paulo, Agronômica Ceres, 1976.

MARCOLAN, A.L. Rendimento de culturas em função do seu revolvimento na reaplicação de calcário no sistema plantio direto. 2002. 76 f. Dissertação (Mestrado em ciência do solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MENDES, L.B.; MENDONÇA, K.H.; GONÇALVES, R.P.; ALMEIRA, Q. E. de.; FREITAS, I.C. de.; CORRECHEL, V. Avaliação de indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestal e em pastagem degradada. Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, p. 1-12, 2011.

PAMPLONA, V.M.S. Índices de Qualidade do Solo para Plantação de Açaí. 2011. Dissertação (Mestrado em Matemática e Estatística), PPGME, UFPA, Belém, Pará, Brasil.

PESTANA, M.H.; GAGEIRO, J.N. Análise de Dados para Ciências Sociais: A complementaridade do SPSS. 4.ed. Lisboa: Edições Sílabo, 2005.

PEDROTTI, A.; MÉLLO JÚNIOR, A. V. Avanços em Ciência do Solo: A Física do solo na Produção Agrícola e Qualidade Ambiental. São Cristovão: Editora UFS, Acaraju: Fapitec, 2009. 212p.

SANTANA, A.C. Índice de Desempenho Competitivo das Empresas de Polpa de Frutas do Estado do Pará. Revista de Economia e Sociologia Rural, Rio de Janeiro, v. 45, n. 3, p. 749-775, jul./set. 2007.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S. & TOMM, G.O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33: 129-136, 2009.

STATSOFT. Statistica for Windows – computer program manual. Tulsa, UK: StatSoft, 1995.

## 5. CONCLUSÃO GERAL

A Ds, Ma e a Mi foram atributos que se destacaram como indicadores de qualidade do solo, em que a Ma foi o atributo de maior peso relativo nos modelos de discriminação dos sítios amostrados nas camadas de 0-0,10 e 0,100,20 m e a Mi e Ds na camada de 0,20-0,40 m, sugerindo que nas condições estudadas essas variáveis são as principais responsáveis pela qualidade física dos solos.

Os atributos PST, Na e MO se destacaram como indicadores de qualidade do solo, em que PST foi o atributo de maior peso relativo nos modelos de discriminação dos sítios amostrados nas profundidades de 0-0,10 e 0,10-0,20 m e MO na camada de 0,20-0,40 m sugerindo que nas condições estudadas essas variáveis são as principais responsáveis pela qualidade química dos solos.

Do ponto de vista de qualidade química, esta não é considerada adequada, tendo em vista que a maior parte dos solos foi classificada como de qualidade ruim, fato que pode ser atribuído principalmente à textura extremamente arenosa e ao manejo inadequado da adubação.

No geral, a qualidade do solo não é considerada ideal, fato atribuído ao manejo adotado e, sobretudo, à textura extremamente arenosa.