



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

GLAUCIANNE CAVALCANTE DA CONCEIÇÃO

**SELEÇÃO DE INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO
POR MEIO DE ANÁLISE MULTIVARIADA**

JUAZEIRO/BA

2016



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

GLAUCIANNE CAVALCANTE DA CONCEIÇÃO

**SELEÇÃO DE INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO
POR MEIO DE ANÁLISE MULTIVARIADA**

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco, como requisito para a obtenção do título de mestre em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Prof^a. DSc. Alessandra Monteiro Salviano

Co-orientador: DSc. Carlos Alberto Tuão Gava

JUAZEIRO/BA

2016

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

FOLHA DE APROVAÇÃO

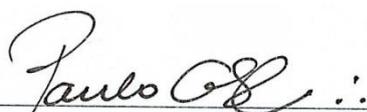
Glaucianne Cavalcante da Conceição

Seleção de indicadores de qualidade do solo por meio de análise multivariada

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco, como requisito para a obtenção do título de mestre em Engenharia Agrícola.



Prof^a DSc. Alessandra Monteiro Salviano
(PGEA- UNIVASF/Embrapa Semiárido)



Prof. DSc. Paulo Gustavo Serafim de Carvalho
(PGEA- UNIVASF)



Prof. DSc. Stefeson Bezerra de Melo
(Universidade Federal Rural de Semiárido)

Juazeiro, _____ de _____ de 2016.

	Conceição, Glaucianne Cavalcante.
C774s	Seleção de indicadores de qualidade do solo por meio de análise multivariada / Glaucianne Cavalcante da Conceição. -- Juazeiro, 2016.
	xii, 78f.;il.: 29 cm.
	Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro, Juazeiro-BA, 2016.
	Orientadora: Profa. Dra. Alessandra Monteiro Salviano.
	1. Análise Multivariada . 2. Solo- Controle de qualidade. 3. I. Título. II. Salviano, Alessandra Monteiro . III. Universidade Federal o Vale do São Francisco.
	CDD 519.5

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

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me fortalecido e me guiado nessa caminhada.

À minha família, em particular aos meus pais e irmão, pela paciência, apoio e dedicação.

A minha filha Vitória, pela compreensão da minha ausência mesmo estando presente. Você é a melhor parte de mim, meu maior incentivo.

Aos amigos (Leane, Max, Márcio, Day, Gabi, Cintia) da pós-graduação da UNIVASF pela oportunidade de compartilhar momentos de alegria e dificuldades.

A Carol, secretária da CPGEA, a quem recorri inúmeras vezes e sempre se dispôs a me ajudar.

Agradecimento especial à Tamires e Francimária que estiveram sempre ao meu lado, me apoiando e levantando minha autoestima sempre.

Aos amigos e colegas da Embrapa Semiárido.

Aos amigos da graduação que nunca perderam o contato,

Ao corpo docente da Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UNIVASF, pelos ensinamentos ou por colaborarem de diversas formas na minha formação, ao professor Paulo Gustavo pela disponibilidade em participar da minha avaliação, em especial à professora Nelci Olszewski pelas contribuições.

Ao professor Stefeson Bezerra, pela disposição em me ajudar em todo o tempo, não pondo impedimento nem mesmo na distância.

À pesquisadora da Embrapa Semiárido Alessandra Monteiro Salviano, pela orientação, incentivo, paciência, prestatividade, e por sempre ter se colocado à disposição para me auxiliar no que fosse necessário.

Ao pesquisador da Embrapa Semiárido Carlos Alberto Tuão Gava, pela coorientação, atenção e auxílio, tornando possível a execução desse trabalho, não deixando de agradecer por seu companheirismo, amizade e por seu humor incomparável.

À EMBRAPA Semiárido e a CHESF pelo espaço e recursos concedidos, respectivamente, pelo incentivo às pesquisas, o que contribuiu de forma positiva para conclusão deste trabalho.

À CNPq e CAPES que viabilizaram esta oportunidade com a concessão da bolsa de estudo.

Enfim, a todos que participaram, de forma direta e indireta, para a conclusão deste trabalho. Minha eterna gratidão!

“Você que tem me trazido grandes motivações, à minha filha Vitória.”

Dedico

CONCEIÇÃO, G. C. **Seleção de indicadores de qualidade do solo por meio de análise multivariada**. 2016. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco- UNIVASF.

RESUMO

A análise estatística multivariada permite detectar e descrever padrões estruturais, espaciais, temporais, e formular hipóteses baseadas nos numerosos fatores bióticos e abióticos que interferem sobre tais características. Com a técnica da análise multivariada é possível explicar o máximo de correlação entre as variáveis e descobrir quais delas contribuem mais para a caracterização e, ou, alteração do solo. Com isso, a análise multivariada torna-se uma importante ferramenta para a análise exploratória de dados de solos, permitindo o agrupamento de amostras segundo sua similaridade e ainda permitindo a seleção de variáveis de maior importância na discriminação de grupos pré-selecionados. Assim, o objetivo deste trabalho foi identificar, entre atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo, e, por meio de técnicas de estatística multivariada, indicadores sensíveis ao manejo agrícola que permitam o monitoramento da qualidade do solo. Os resultados foram apresentados em três artigos. No primeiro e segundo artigo, foram selecionadas áreas com diferentes sistemas de produção de mangueira (orgânico, convencional e integrado) na região do Vale do São Francisco, as amostras de solo foram coletadas em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm). No entanto, o uso dos dados da camada superficial do solo foram suficientes para identificar os atributos com potencial de uso como indicador de qualidade do solo, isso se deve ao fato desta ser mais alterada pelas ações do manejo. Para análise de dados utilizaram-se as análises de componentes principais (ACP), de agrupamento (AA) e de correlação canônica (CC). As técnicas de análise multivariada foram eficazes na distinção da qualidade do solo em sistemas de produção de manga. Nas condições edafoclimáticas observou-se que os indicadores mais sensíveis às ações antrópicas estão relacionados ao carbono do solo (COX F3 e F4, relação C:P, C-K₂SO₄, COT, RB, C-BMS, qCO₂, P e CN-BMS). A aplicação de técnicas de análise multivariada, componentes principais e agrupamentos, permitiram a distinção entre as áreas cultivadas sob cultivo orgânico comparativamente às convencionais, integrada e caatinga, até mesmo as que estavam em transição. Os solos com cultivo convencional e cultivo integrado apresentaram comportamentos ou características similares, quando considerado o conjunto das variáveis em estudo. De acordo com a análise de correlação canônica, quando analisou-se os atributos químicos e microbiológicos do solo os sistemas de produção orgânico e integrado se mostraram diferentes, demonstrando características próprias para cada sistema. O carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS), foi o atributo que mais contribuiu para discriminar os sistemas orgânico e integrado de produção de manga, seguido, pelo coquiente metabólico (qCO₂) e pela respiração basal (RB). A análise de correlação canônica é importante no estudo das alterações de atributos do solo, discriminados precocemente, nos sistemas de produção convencional, integrado e orgânico de manga. No terceiro artigo foram selecionadas áreas agrícolas com diferentes sistemas de produção na região de entorno do lago de Sobradinho-BA. As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, tendo áreas de caatinga adjacente como referência. Para análise de dados utilizaram-se as análises de componentes principais (ACP), de agrupamento (AA). As áreas estudadas apresentaram cargas fatoriais semelhantes, diferindo a ordem de importância, sendo a disponibilidade de nutrientes, a granulometria e a agregação do solo a compor o primeiro fator da análise de componentes principais. As técnicas de análise multivariada não permitiram distinguir as áreas de acordo com os diferentes tipos de solos, provavelmente devido a homogeneidade dos solos em relação à sua granulometria e à baixa fertilidade natural e ao manejo pouco efetivo das áreas. Os atributos físicos foram os mais importantes para formação dos agrupamentos

das propriedades rurais. As variáveis mais sensíveis, que auxiliaram na análise de agrupamentos separando as áreas de acordo com as características dos solos, foram matéria orgânica, potássio, cálcio, magnésio e soma de bases.

Termos para indexação: Fruticultura irrigada, análise de componentes principais, análise de agrupamento, análise de correlação canônica, análise fatorial e Vale do Submédio do São Francisco.

CONCEIÇÃO, G. C. **Selection of indicators of soil quality by means of multivariate analysis.** 2016. 78 f. Dissertation (master's degree in agricultural engineering) - Federal University of São Francisco Valley.

ABSTRACT

The multivariate statistical analysis allows you to detect and describe structural patterns, spatial, temporal, and formulate hypotheses based on numerous biotic and abiotic factors that interfere on such characteristics. With the technique of multivariate analysis it is possible to explain the maximum correlation between the variables and find out which ones contribute more to the characterization and, or, alteration of soil. With that, the multivariate analysis becomes an important tool for exploratory data analysis of soils, allowing the grouping of samples according to their similarity and still allowing the selection of the most important variables in the discrimination of pre-selected groups. Thus, the aim of this study was to identify, between chemical, physical and microbiological attributes of the soil, and, by means of multivariate statistical techniques, agricultural management sensitive indicators to allow monitoring of soil quality. The results are presented in three articles. In the first and second article we have selected areas with different hose production systems (organic, conventional and integrated) in the region of Vale do São Francisco, the soil samples were collected in two depths (0-10 and 10-20 cm). However, the use of the data of the surface layer of the soil were sufficient to identify the attributes with potential use as an indicator of soil quality, this is due to the fact that this be more amended by actions of the management. For data analysis using principal component analyses (ACP) grouping, (AA) and canonical correlation (CC). Multivariate analysis techniques were effective in distinguishing the quality of soil in Mango production systems. Edapho climatic conditions it was observed that the indicators more sensitive to anthropogenic actions are related to soil carbon (COX F3 and F4, C:P, C-K₂SO₄, COT, RB, C-BMS, qCO₂, P and CN-BMS). The application of multivariate analysis, principal components and groupings, have allowed the distinction between areas cultivated under organic cultivation compared to conventional, integrated and caatinga, even the ones that were in transition. Soils with conventional farming and integrated cultivation presented similar characteristics or behaviors, when considered as the set of variables under study. According to the canonical correlation analysis, when we analyzed the chemical and microbiological attributes of the soil the organic and integrated production systems were different, showing moderate characteristics for each system. The soil microbial biomass carbon (CBMS) was the attribute that most contributed to discriminate the organic and integrated production systems of manga, followed by metabolic coquiente (qCO₂) and the basal respiration (RB). The canonical correlation analysis is important in the study of the changes of soil attributes, broken down early, in conventional production systems, integrated and organic mango. In the third article were selected agricultural areas with different production systems in the region surrounding Lake of Sobradinho, Bahia. The soil samples were collected at depths of 0-10, 10-20 and 20-40 cm, having areas of caatinga adjacent as reference. For data analysis using principal component analyses (ACP) grouping (AA). The areas studied showed a similar, differing factorials loads the order of importance, being the availability of nutrients, the particle size and soil aggregation to compose the first factor principal component analysis. The techniques of multivariate analysis did not distinguish the areas according to the different types of soils, probably due to homogeneity of soils in relation to their particle size and low natural fertility and little effective management of the areas. The physical attributes were the most important for the formation of groups of rural properties.

The most sensitive variables, which assisted in the analysis of clusters separating the areas according to the characteristics of soils, were organic matter, potassium, calcium, magnesium and sum of bases.

Index terms: irrigated fruit growing, principal components analysis, cluster analysis, canonical correlation analysis, factor analysis and Medium Valley of San Francisco.

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
INTRODUÇÃO GERAL	
Figura 1. Modelo de dendograma.	18
ARTIGO 1	
Figura 1. Análise de Agrupamentos das propriedades rurais que utilizam sistemas de produção Convencional, Integrado e Orgânico e das áreas de referência sob Caatinga utilizando-se a análise em conjunto dos atributos químicos e microbiológicos (A), químicos (B) e microbiológicos (C) de amostras de solo coletadas na profundidade de 0-10 cm.	22
ARTIGO 3	
Figura 1. Análise de Agrupamentos das características dos solos na profundidade de 0-10, 10–20 e 20–40 cm para as áreas de caatinga e em uso agrícola utilizando-se a análise em conjunto dos atributos físicos e químicos.	49
Figura 2. Análise de Agrupamentos das características dos solos na profundidade de 0-10, 10-20 e 20-40 cm em sistemas de produção agrícola e em áreas de caatinga utilizando-se a análise separada dos atributos físicos (A) e químicos (B) do solo.	51
APÊNDICE	
Figura 1. Análise de Agrupamentos das propriedades rurais que utilizam sistemas de produção Convencional, Integrado e Orgânico e das áreas de referência sob Caatinga utilizando-se a análise em conjunto dos atributos químicos e microbiológicos de amostras de solo coletadas na profundidade de 0-10 e 10-20 cm.	64

LISTA DE TABELAS

	Pag.
ARTIGO 1	
Tabela 1. Cargas fatoriais baseadas na análise de componentes principais dos atributos químicos e biológicos do solo na profundidade de 0 - 10 cm.	20
ARTIGO 2	
Tabela 1. Análise descritiva dos atributos químicos e microbiológicos dos solos em diferentes usos nas profundidades de 0-10 cm.	32
Tabela 2. Análise descritiva dos atributos químicos e microbiológicos dos solos em diferentes usos nas profundidades de 10-20 cm.	33
Tabela 3. Coeficiente de correlação canônica dos atributos microbiológicos e químicos do solo para os sistemas de produção orgânico e integrado nas profundidades de 0-1- e 10-20 cm de profundidade.	34
Tabela 4. Coeficiente de correlação canônica dos atributos microbiológicos e químicos do solo para o sistema de produção orgânico, integrado e convencional, tendo como referência, áreas da caatinga, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm de profundidade.	36
ARTIGO 3	
Tabela 1. Localização das propriedades rurais selecionadas, com suas respectivas classes de solos e uso agrícola.	44
Tabela 2. Média e Desvio Padrão dos atributos físicos e químicos nas camadas de 0-0,10, 0-20 e 20-40 cm de profundidade para as áreas de caatinga e em uso agrícola.	46
Tabela 3. Cargas fatoriais obtidas por meio da ACP dos atributos físicos, químicos nas profundidades 0- 0, 10-20 e 20-40 cm para as áreas de caatinga e em uso agrícola.	47
APÊNDICE	
ARTIGO 1	61
Tabela 1. Cargas fatoriais baseadas na análise de componentes principais dos atributos químicos e microbiológicos do solo na profundidade de 0 - 10 e 10 -20 cm.	
ARTIGO 2	
Tabela 1. Cargas fatoriais baseadas na análise de componentes principais dos atributos químicos e microbiológicos do solo na profundidade de 0 - 10 e 10 -20 cm.	63
Tabela 2. Valores de Média, desvio padrão, mínimo e máximo dos atributos químicos e físicos dos solos em diferentes usos nas profundidades de	64

0-10 cm (variáveis removidas na seleção para realização da análise de correlação canônica).

Tabela 3. Valores de Média, desvio padrão, mínimo e máximo dos atributos químicos e físicos dos solos em diferentes usos nas profundidades de 10-20 cm (variáveis removidas na seleção para realização da análise de correlação canônica). 65

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1. Qualidade do solo	13
2.2. Análise multivariada.....	14
2.3. Análise componentes principais (ACP)	15
2.4. Análise de agrupamento	16
2.5. Análise canônica.....	19
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	12
4. ARTIGO 1 - USO DE ANÁLISE MULTIVARIADA PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE MANGA NO SEMIÁRIDO.....	15
MATERIAL E MÉTODOS	17
Área de estudo e amostragem do solo	17
Indicadores químicos do solo	18
Indicadores microbiológicos	18
Análise estatística	19
RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
CONCLUSÕES.....	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
5. ARTIGO 2 - CORRELAÇÕES CANÔNICAS DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE MANGA NO VALE DO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO.....	27
RESUMO.....	27
ABSTRACT	27
INTRODUÇÃO	28
MATERIAL E MÉTODOS	29
Área de estudo e amostragem do solo	29
Indicadores químicos do solo	30
Indicadores microbiológicos	31
Análise estatística	31
RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
CONCLUSÕES.....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
6. ARTIGO 3 - ESTATÍSTICA MULTIVARIADA COMO FERRAMENTA NA IDENTIFICAÇÃO DE INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO	42

RESUMO.....	42
ABSTRACT	43
INTRODUÇÃO	43
MATERIAL E MÉTODOS.....	45
Local de estudo.....	45
Coleta de amostras de solo	45
Análises Físicas do Solo.....	45
Análises Químicas dos Solos.....	46
Análises microbiológicas dos solos.....	46
Análise estatística	46
RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
CONCLUSÕES.....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
7. CONCLUSÃO GERAL	58
APÊNDICE A	59
ARTIGO 2.....	62
Tabela 1. Matriz de correlação dos atributos químicos e microbiológicos do solo com diferentes usos em profundidades de 0-10 e 10-20 cm.	62
Tabela 2. Valores de Média, desvio padrão, mínimo e máximo dos atributos químicos e físicos dos solos em diferentes usos nas profundidades de 0-10 cm (variáveis removidas na seleção para realização da análise de correlação canônica).....	63
Tabela 3. Valores de Média, desvio padrão, mínimo e máximo dos atributos químicos e físicos dos solos em diferentes usos nas profundidades de 10-20 cm (variáveis removidas na seleção para realização da análise de correlação canônica).....	64
ARTIGO 3.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 1. Análise de Agrupamentos das características dos solos na profundidade de 0-40 cm em sistemas de produção agrícola e em áreas de caatinga utilizando-se a análise em conjunto e separados dos atributos físicos e químicos do solo. Erro! Indicador não definido.	

1. INTRODUÇÃO

O uso e o manejo da terra, sem uma prévia avaliação das suas potencialidades e limitações, tem sido grande motivo da degradação de recursos naturais fundamentais para a sobrevivência do homem, como o solo e a água.

O solo é considerado um componente vital para os agroecossistemas no qual ocorrem os processos e ciclos de transformações físicas, biológicas e químicas, e quando mal manejado pode degradar todo o ecossistema (Streck et al., 2002). Este recurso é produto resultante da ação combinada de cinco fatores principais de formação: clima, organismos, material de origem (a rocha), relevo e o tempo. O clima, os organismos e o relevo agem sobre o material de origem ao longo do tempo, dando origem ao solo. Essa ação formadora de solos se desenvolve por meio de processos de desintegração física e química do material de origem (Pamplona, 2011).

De acordo com Silva (2003), cada tipo de solo apresenta diferente comportamento em relação à retenção e permeabilidade de água, disponibilidade de nutrientes e etc. Deve-se, portanto, conhecer as propriedades do solo e suas variações, para que seja adotado o manejo mais adequado ao solo e as culturas, a fim de que ocorra a preservação elevada.

Silva (2008) salienta que a ação do homem no sistema solo-água-plantas-atmosfera, para a produção de alimentos, tende a ocasionar alterações, muitas vezes positivas, como a melhoria das condições para o desenvolvimento e proteção das plantas, outras vezes negativas, como a degradação do solo e a poluição do ambiente. Assim, os solos quando submetidos a determinados sistemas de cultivo, tendem a um novo estado de equilíbrio, refletido em diferentes manifestações de seus atributos, as quais podem ser desfavoráveis à conservação da capacidade produtiva destes solos.

O solo é considerado um sistema complexo, resultante da interação de fatores geológicos, topográficos e climáticos, entre outros, que juntos formam indicadores (variáveis) que o caracterizam. Partindo desse pressuposto, nota-se a importância de avaliar a qualidade do solo através dos diferentes atributos do solo (químicos, físicos e microbiológicos) utilizando técnica de análises multivariadas. Esses atributos, por serem sensíveis, são importantes para estabelecer se houve degradação ou melhoria da qualidade do solo em relação ao ambiente. De acordo com Reichert et al. (2009) estudar os atributos do solo ao longo do tempo permite quantificar a magnitude e duração das alterações provocadas por diferentes modelos de ambiente.

Observa-se que, quando as variáveis ambientais (atributos físicos, químicos e biológicos) do solo são analisadas em conjunto e correlacionadas com diferentes ecossistemas, a visualização e a ordem de influência dessas variáveis são bem mais claras. A ideia de utilizar técnicas estatísticas que permitam a ordenação de amostras em função de uma série de fatores ambientais simultaneamente permite uma análise conjunta dos fatores ambientais para verificação de suas correlações com diferentes ecossistemas ou usos do solo (Melloni et al., 2008).

Com a técnica da análise multivariada é possível explicar o máximo de correlação entre as variáveis e descobrir quais delas contribuem mais para a caracterização e, ou, alteração do solo. Diversas pesquisas têm aplicado a técnica multivariada para análise de dados de solos (Pragana et al., 2012).

Os modelos estatísticos univariados tornam-se menos sensíveis nesse tipo de estudos, em razão das particularidades próprias de cada manejo, não consideram o efeito conjunto de inúmeros fatores e características para promover as respostas ao manejo. A análise estatística multivariada, entretanto, permite detectar e descrever padrões estruturais, espaciais e temporais, e formular hipóteses baseadas nos numerosos fatores bióticos e abióticos que interferem sobre tais características (Valentin, 2000).

Nessa premissa, as informações geradas a partir da caracterização química, física e biológica de solos podem ser realizadas utilizando-se técnicas estatísticas de análise multivariada. De acordo com Benites et al. (2010) a análise multivariada é importante ferramenta para a análise exploratória de dados de solos, permitindo o agrupamento de amostras segundo sua similaridade e ainda permitindo a seleção de variáveis de maior importância na discriminação de grupos pré-selecionados.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi identificar, entre atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo, e, por meio de técnicas de estatística multivariada, indicadores sensíveis ao manejo agrícola que permitam o monitoramento da qualidade do solo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Qualidade do solo

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 humanos (Doran e Parkin, 1994). Assim, a qualidade de um solo está relacionada com seu grau de aptidão a um uso específico que é dependente das práticas agrícolas adotadas e da composição natural do solo (Silva, 2008).

Na passagem de sistemas naturais para agrícolas, muitos atributos do solo são alterados, alguns dos quais, por estarem relacionados com processos do ecossistema e serem sensíveis a variações no uso e manejo do solo, indicam alterações na sua qualidade (Doran; Parkin, 1996). De maneira geral, é possível obter informações bastante detalhadas sobre propriedades químicas e físicas do solo, enquanto o aspecto biológico é pouco conhecido (D'Andréa et al., 2002).

A qualidade do solo pode ser utilizada como um importante indicador da sustentabilidade de agroecossistemas, para isso é necessário realizar um monitoramento feito a partir do comportamento de indicadores, ao longo do tempo, ou comparando seus desempenhos com valores de referência, que podem ser estabelecidos a partir de resultados de pesquisa ou obtidos em ecossistemas naturais, localizados nas mesmas condições do solo avaliado.

2.2. Análise multivariada

A análise multivariada é uma técnica de grande relevância para a derivação de inferências referentes à variação de um conjunto de variáveis entre dois ou mais tratamentos, fato habitual na área da experimentação agrônômica e/ou biológica.

Para Hair et al, (2005), a análise multivariada é um conjunto de técnicas voltadas para a análise de dados e tem sido bastante explorada em diversas áreas. Dentre os diferentes tipos de análises que a multivariada permite fazer, pode-se citar a Análise de Componentes Principais, a Análise de Agrupamentos e a Correlação Canônica.

A análise de dados multivariados é aquela que se ocupa de conjuntos de dados oriundos de diversas medidas obtidas sobre uma mesma amostra, levando em conta, na busca de seus resultados, não somente as características individuais de cada uma das medidas obtidas sobre uma dada amostra, mas, também, as relações porventura existentes entre as diversas variáveis utilizadas na investigação. Pressupõe, pois, a existência de diversas observações e, nelas, de diversas variáveis.

A análise multivariada considera a dependência entre as variáveis (covariância), fato que na análise univariada não é contemplado. A utilização de apenas uma variável pode ser

uma simplificação perigosa, não evidenciando de forma adequada as verdadeiras causas de variações intrínsecas aos dados do estudo, e deixando fora da análise a importante informação de covariabilidade entre as variáveis (Coimbra et al., 2007).

Sendo assim, surge a necessidade da análise multivariada toda vez que o pesquisador tem vários atributos a serem analisados e necessita estudar simultaneamente suas relações (Mariani et al., 2006) e estas podem ser diretas ou indiretas.

A estatística multivariada pode ser aplicada com diversas finalidades, mesmo nos casos em que não se dispõe de antemão de um modelo teórico rigorosamente estruturado a respeito das relações entre as variáveis. A finalidade de sua aplicação pode ser de reduzir dados ou de simplificação estrutural, de classificar e agrupar, de investigar a dependência entre variáveis, de predição e de elaborar hipóteses e testá-las (Johnson; Wichern, 1992).

Em estudos realizados por Manhaes e Francelino (2012) com o objetivo de caracterizar e conhecer quais são os fatores que mais afetam a distribuição das comunidades de organismos edáficos que habitam o sistema solo-serapilheira, concluíram que a utilização de análises multivariadas demonstra ser uma ferramenta promissora para explicar a correlação entre diferentes variáveis que apresentam unidades diferentes no estudo de bioindicadores da qualidade do solo e suas influências com as características químicas e físicas do solo e da serapilheira.

Freitas et al., (2014) com o objetivo de avaliar as alterações dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico submetido a diferentes manejos em áreas localizadas no município de Guariba (SP), utilizando a análise multivariada, observou que o uso das técnicas de multivariadas mostrou-se uma ferramenta útil no estudo entre as correlações dos atributos químicos do solo e os ambientes estudados, a fim de verificar as semelhanças e/ou as diferenças entre os ambientes.

2.3. Análise componentes principais

É uma técnica matemática que não exige que a distribuição de propabilidade da população sob estudo que seja conhecida, não necessitando, pois, de um modelo estatístico que explique a estrutura propabilística dos erros, ressaltando-se que, em sendo possível assumir-se uma distribuição multinormal para os dados disponíveis se pode encontrar significação estatística nas componentes, pois que poder-se-á associar a cada uma delas uma medida de confiabilidade (Vicini, 2005).

Essa análise é uma técnica que incide em transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão denominadas de componentes principais. Cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, são independentes entre si e estimados com o propósito de reter o máximo de informação em termos da variação total contida nos dados (Varella, 2008).

A ACP encontra-se certamente entre as mais importantes ferramentas da análise multivariada, inclusive por constituir a base onde se fundamentam a maioria dos outros métodos multivariados de análise de dados. Como uma ferramenta de análise exploratória a ACP permite revelar a existência ou não de amostras anômalas, de relações entre as variáveis medidas e de relações ou agrupamentos entre amostras (Lyra, 2010). Vale ressaltar que a ACP está associada à ideia de redução de massa de dados, com menor perda possível da informação.

De acordo com Andriotti (1997) esse tipo de análise multivariada (ACP) encontra um campo fértil para sua utilização quando se tem em mãos um conjunto de dados multivariados, isto é, quando houver muitas variáveis interagindo concomitantemente no fenômeno ou no processo estudado, e que não se possa postular, com base nos dados disponíveis, uma estrutura particular destas variáveis.

Busca-se na ACP a solução com máxima variância de todas as variáveis disponíveis com o menor número de componentes principais. Através da ACP se identifica novas variáveis. Reduz-se, também a dimensionalidade do problema, e, em adição, permite identificar variáveis originais que contribuem muito pouco para elucidação do comportamento de uma área quando se estuda os processos que nelas atuaram, identificação que permite sugerir a eliminação destas variáveis em etapas futuras de estudo.

Apesar das técnicas de análise multivariada ter sido desenvolvida para resolver problemas específicos, principalmente de Biologia e Psicologia, podem ser também utilizadas para resolver outros tipos de problemas em diversas áreas do conhecimento (Regazzi, 2000).

2.4. Análise de agrupamento

A análise de agrupamento (AA) tem sido amplamente utilizada, devido suas vastas aplicações e habilidade de interpretação. Esse tipo de análise pode, também, gerar hipóteses, apesar de ser vista como uma técnica exploratória, a AA pode ser usada para fins confirmatórios (Hair, et al., 2005). Esse tipo de análise é uma técnica analítica para criar

grupos significativos de indivíduos ou objetos. Especificamente, o que se faz com essa técnica é classificar uma amostra de objetos em um número de grupos mutuamente excludentes com base nas similaridades entre seus atributos (Alencar et al., 2013).

Separar objetos em grupos similares, principalmente considerando apenas uma característica em particular, é uma atividade comum e intuitiva, e está presente no cotidiano do homem em qualquer coisa que faça e que requeira algum tipo de organização. Mas quando existe a necessidade de se analisar mais de uma característica simultaneamente, identificar grupos de objetos passa a ser trabalhoso, exigindo conceitos mais sofisticados de semelhança e procedimentos mais “científicos” para se criar os agrupamentos (Bassab et al, 1990 in Alencar et al., 2013).

Essa análise é determinada de maneira muito diferente do que ocorre em outras técnicas multivariadas. Esse tipo de análise não estima a variável estatística como especificada pelo pesquisador. O foco dessa análise é a comparação de objetos com base na variável estatística, não na estimação da variável estatística em si. Isso torna a definição da variável estatística feita pelo pesquisador um passo crítico na análise (Hair, et al., 2009).

Para Moori et al. (2002) a AA admite ao pesquisador separar ou classificar objetos observados em um grupo ou em número específico de subgrupos ou conglomerados mutuamente exclusivos, de modo que os subgrupos formados tenham características de grande similaridade interna e grande dissimilaridade externa.

A escolha do método para agrupamento exige o conhecimento de suas propriedades e dos objetivos da pesquisa. O critério essencial é a maximização das diferenças entre os grupos em relação à variação dentro dos grupos (Chinelatto Neto, et al., 2005).

A primeira decisão na análise se refere à medida de similaridade que deve ser estabelecida. Ou seja, deve-se estabelecer a associação de dois objetos baseada nas variáveis da ‘variável estatística de agrupamento’. Hair et. Al (2005) define a análise de agrupamento como o conjunto das variáveis que representam as características usadas para comparar objetos na análise de agrupamentos.

É indispensável decidir à priori, a medida de similaridade que será utilizada para se proceder ao agrupamento de elementos. Para isto, existem medidas apropriadas para análise de variáveis qualitativas e quantitativas. As medidas apropriadas para variáveis quantitativas também são chamadas de dissimilaridade. Neste caso, quanto menores os seus valores, mais similares serão os elementos que estão sendo comparados. Algumas dessas medidas de similaridade são: Distância Euclidiana, Distância Generalizada (ou Ponderada) e Distância de Minkowsky (Mingoti, 2005).

Essa técnica dispõe do gráfico denominado Dendograma, em forma de árvore, no qual o nível de similaridade (ou dissimilaridade) é indicado na escala vertical. No eixo horizontal são relatados os elementos amostrais na ordem conveniente ao agrupamento.

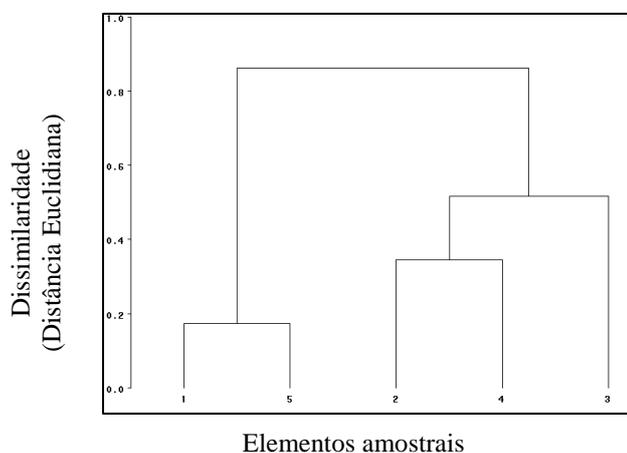


Figura 1. Modelo de dendograma.

No trabalho desenvolvido por Freitas et al., (2014) com o objetivo de avaliar as alterações dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico submetido a diferentes manejos em áreas localizadas no município de Guariba (SP) concluiu-se que a análise de agrupamento foi eficiente para separar os ambientes estudados confirmando a diferença de ambientes através da análise de cluster, o ambiente cultivado e o reflorestado são mais similares, sendo a mata nativa o ambiente isolado o que mais se diferencia dos demais.

De acordo com estudos realizados por Freitas et al., (2014) com o objetivo de estudar alterações em Latossolo Vermelho distrófico, causadas pelo cultivo contínuo de cana-de-açúcar, em três áreas distintas (mata, cana-de-açúcar e área reflorestada) adjacentes, no município de Jaboticabal (SP) na profundidade de 0-20 cm do solo, foi possível verificar e o uso das técnicas de multivariadas, análise de agrupamento e de componentes principais, foi eficiente para verificar as similaridades ou as diferenças, com base nos atributos físicos do solo em cada ambiente estudado.

Já Pragna et al., (2012), avaliaram o efeito do plantio direto na alteração das características físicas de Latossolos Amarelos cultivados com soja, onde os autores ao submeter os dados a análise de agrupamento, foi possível observar que os tratamentos com solos sob plantio direto formaram grupos distintos do campo natural o que demonstra a alteração dos atributos físicos do solo em relação a mata nativa.

2.5. Análise de Correlação Canônica

A análise de correlação canônica (ACC) tem como objetivo principal explicar a relação entre dois conjuntos de variáveis encontrando um pequeno número de combinações lineares, para cada um dos conjuntos de variáveis, de modo a maximizar as correlações possíveis entre os grupos. A análise das variáveis canônicas (obtidas pelas combinações lineares) pode ser de grande utilidade no estudo de dependências multivariadas.

A ACC é centrada na identificação e quantificação da associação entre dois grupos de variáveis. O foco da ACC é direcionado para a correlação entre uma combinação linear das variáveis em um dos grupos com outra combinação linear das variáveis do outro grupo de variáveis.

A análise canônica permite identificar diferenças entre grupos e/ou tratamentos, o que resulta na compreensão das relações entre todos os atributos estudados e os grupos e/ou tratamentos (Maluche-Baretta et al., 2006).

Por tais características, a análise multivariada torna-se eficaz em estudos com avaliações de atributos químicos, físicos e microbiológicos, quando se pretende identificar os atributos que servem para separar áreas de estudo, por inexistência de similaridade. Isto permite ainda a eliminação do tempo usado com atributos que expressam baixa resposta.

Para Baretta et al., (2005) a técnica de análise canônica, é uma ferramenta estatística, que permite estabelecer não só a identificação de diferenças entre tratamentos, mas também qual é o atributo que mais contribui para a separação entre as áreas estudadas, permitindo, assim, a eliminação de tempo e dinheiro gastos com aqueles atributos do solo que expressam baixa resposta. Essa abordagem é muito útil porque, além de identificar os atributos físicos, químicos ou microbianos do solo mais relevantes para a separação das áreas, permite considerá-lo como um indicador sensível para avaliação da intervenção antrópica (Gelsomino et al., 2006; Mariani et al., 2006; Franchini et al., 2007).

Com o objetivo de identificar diferenças entre os dois sistemas de produção, com base em atributos microbiológicos e químicos do solo, por meio de métodos multivariados, como a análise canônica discriminante (ACD) e a análise de correlação canônica (ACC), Maluche-Baretta et al., (2006), concluíram que os métodos de análise multivariada (análise canônica discriminante e análise de correlação canônica) são importantes no estudo das alterações de atributos do solo, discriminados precocemente, nos sistemas de produção convencional e orgânico de maçãs, em seus resultados foi destacado que houve alta correlação canônica entre

atributos biológicos e químicos do solo nas áreas estudadas, com destaque para o CBM, entre os atributos biológicos, e para o pH e alumínio, entre os atributos químicos.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR B. J. DE; BARROSO, L. C.; ABREU, J. F. de. Análise multivariada de dados no tratamento da informação espacial uma abordagem com a análise de agrupamentos. **Rev. sistemas, cibernética e informática**. V. 10, N. 2. ISSN: 1690-8627, 2013.
- BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; FIGUEIREDO, S.R. & KLAUBERG-FILHO, O. Efeito do monocultivo de pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no Planalto Sul Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, ISSN: 29:715724, 2005.
- BENITES, V. de M.; MOUTTA, R. de O.; COUTINHO, H. L. DA C.; BALIEIRO, F. de C. Análise discriminante de solos sob diferentes usos em área de mata atlântica a partir de atributos da matéria orgânica. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.4, 2010.
- CHINELATTO NETO, A.; Castro, G. P. C.; Lima, J. E. de. Uso de análise estatística multivariada para tipificação de produtores de leite de minas gerais. **Organ. rurais agroind.**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 114-121, 2005.
- COIMBRA, J. L. M.; SANTOS, J. C. P.; ALVES, M. V.; BARZOTTO, I. Técnicas multivariadas aplicadas ao estudo da fauna do solo: contrastes multivariados e análise canônica discriminante. **Revista CERES**. 2007.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F; STEWART, B.A., eds. Defining Soil Quality for Sustainable Environment. Madison, **Soil Science Society of America**. 1994.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W; JONES, A.J., eds. Methods for Assessing Soil Quality. **Madison, Soil Science Society of America**. 1996.
- FRANCHINI, J.C.; CRISPINO, C.C.; SOUZA, R.A.; TORRES, E. & HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in Southern Brazil. **Soil Till. Res**. 2007.
- FREITAS, L. de; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A. de; SOUZA JUNIOR, P. R. de; CAMPOS, M. C. C. Análises multivariadas de atributos químicos do solo para caracterização de ambientes. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 8, n. 2, 2014.
- GELSOMINO, A.; BADALUCCO, L.; AMBROSOLI, R.; CRECCHIO, C.; PUGLISI, E. & MELI, S.M. Changes in chemical and biological soil proprieties as induced by antropogenic disturbance: A case study of an agricultural soil under recurrent flooding by wastewaters. **Soil Biol. Biochem**. 2006.

- HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. Análise multivariada de dados. **Ed. Bookman**. 6ed, 2009.
- HAIR JR., J. F.; ANDERSON, R.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C., **Análise Multivariada de Dados** – 5ª Edição, Bookman. 2005.
- JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. Applied Multivariate Statistical Analysis. 6.ed. **Upper Saddle River: Pearson Education**. 2007.
- LYRA, W. DA S.; SILVA, E. C. DA; ARAÚJO, M. C. U. DE; FRAGOSO, W. D.; VERAS, G. Classificação periódica: um exemplo didático para ensinar análise de componentes principais. **Revista Química Nova**, vol. 33 n.7 São Paulo 2010.
- MALUCHE-BARETTA, C. R. D.; AMARANTE, C. V. T. DO; FILHO, O. K. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. **Pesq. agropec. bras., Brasília**, v.41, n.10, 2006.
- MANHAES, C. M. C.; FRANCELINO, F. M. A. Estudo da inter-relação da qualidade do solo e da serapilheira com a fauna edáfica utilizando análise multivariada. **Nucleus**, v.9, n.2, 2012.
- MARIANI, L.; CHANG, S.X. & KABZEMS, R. Effects of tree harvesting, forest floor removal, and compaction on soil microbial biomass, microbial respiration, and N availability in a boreal aspen forest in British Columbia. **Soil Biol. Biochem**. 2006.
- MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de minas gerais. **Revista brasileira Ciência do solo**, 2008.
- MOORI, R. G.; MARCONDES, R. C.; ÁVILA, R. T. A análise de agrupamentos como instrumento de apoio à melhoria da qualidade dos serviços aos clientes. **Rev. adm. contemp**. vol. 6 n. 1, 2002.
- 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.
- PRAGANA, R. B.; RIBEIRO, M.R.; NÓBREGA, J. C. A.; RIBEIRO FILHO, M. R.; COSTA, J.A. 2012. Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.5, 2012.
- REICHERT, J. M.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; RIQUELME, U. F. B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de ambiente. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.3, 2009.
- REGAZZI, A. J. Análise multivariada, notas de aula INF 766, **Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa**, v.2, 2000.

SILVA, R. L. Dinâmica da matéria orgânica e relações com propriedades químicas em um latossolo sob diferentes usos da terra na amazônia oriental. Belém, 2008. 75 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal Rural da Amazônia.

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

STRECK, E.V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D. Solos do Rio Grande do Sul. **Porto Alegre: Emater RS - UFRGS**, 2002. 126 p.

VALENTIN, J.L. Ecologia numérica: uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos. **Rio de Janeiro: Interciência**, 2000. 117p.

VICINI, L. ANÁLISE MULTIVARIADA DA TEORIA À PRÁTICA. Santa Maria, RS, Brasil. 2005. (Monografia apresentada no curso de Pós Graduação na UFSM)

4. ARTIGO 1:

USO DE ANÁLISE MULTIVARIADA PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE MANGA NO SEMIÁRIDO

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade do solo sob diferentes sistemas de produção de manga por meio de atributos químicos e microbiológicos utilizando-se técnicas de análise multivariada, assim como identificar os que possam ser utilizados como indicadores. Foram estudadas 4 áreas para cada sistema de produção (Convencional, Integrado e Orgânico), tendo-se como referência 3 áreas sob Caatinga. As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Foram determinados o pH, a condutividade elétrica (CE), os teores de carbono orgânico total (COT), solúvel (C-H₂O e C-K₂SO₄), frações oxidáveis, nitrogênio total (Ntot), amônio (NH₄⁺), nitrato (NO₃⁻), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K), fósforo (P), acidez potencial (H+Al) e alumínio (Al). A partir desses dados foram calculadas a soma de base (S) e a capacidade de troca de cátions (CTC). Como indicadores microbiológicos foram carbono da biomassa microbiana (C-BMS) e o nitrogênio da biomassa microbiana (N-BMS). Foram calculados a relação C:N e o quociente microbiano (qMIC) e o quociente metabólico do solo (qCO₂). Os dados foram submetidos à análise multivariada utilizando-se os atributos químicos e microbiológicos, nas camadas de 0–10 e 10–20 cm, isoladamente e em conjunto. Foram realizadas análises de componentes principais (ACP) e de agrupamento (AA). A aplicação de técnicas de análise multivariada permitiu a distinção entre os diferentes sistemas de produção de manga. O C-BMS, a relação C/N da biomassa, respiração basal, o qCO₂, o COT, a relação C:P, C-H₂O, fração oxidável do carbono no solo (F4 e F5), H+Al e a CTC podem ser utilizados como indicadores de qualidade do solo.

Termos para indexação: cultivo orgânico, produção integrada, cultivo convencional, indicadores de qualidade, análise de componentes principais, análise de agrupamento.

USE OF MULTIVARIATE ANALYSIS FOR EVALUATION OF CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL QUALITY OF THE SOIL IN VARIOUS SYSTEMS OF MANGO PRODUCTION IN THE SEMI-ARID

Formatação dos artigos seguem de acordo com normas exigidas pela Revista Brasileira de Ciência do Solo.

33 **ABSTRACT** - The aim of this work was to evaluate soil quality under different systems of mango
34 production through chemical and microbiological attributes using multivariate analysis techniques,
35 as well as identify those that could be used as indicators. 4 areas were studied for each production
36 system (Organic, integrated and Conventional), having as reference 3 areas under Caatinga. The soil
37 samples were collected at depths of 0-10 and 10-20 cm. Were determined pH, electrical
38 conductivity (EC), the levels of total organic carbon (TOC), soluble (C-H₂O and C-K₂SO₄),
39 oxidizable, total nitrogen fractions (N_{tot}), ammonium (NH₄⁺), nitrate (NO₃⁻), calcium (Ca),
40 magnesium (Mg), sodium (Na), potassium (K), phosphorus (P), acidity (H⁺) and aluminum (Al).
41 From these data were calculated the sum of base (S) and the ability to exchange of cations (CTC).
42 As biological indicators were used the CO₂-C, microbial biomass (C-BMS) and microbial biomass
43 nitrogen (N-BMS). C:N ratio were calculated and the microbial quotient (qMIC) and the metabolic
44 quotient (qCO₂) soil. The data were subjected to multivariate analysis using the chemical and
45 microbiological attributes, layers of 0-10 and 10-20 cm, alone and together. Principal component
46 analyses were performed (ACP) and group (AA). The application of multivariate analysis
47 techniques allowed the distinction between the different production systems. The C-BMS, the c/n
48 ratio of the biomass, basal respiration, qCO₂, TOC, C:P, C-H₂O, oxidizable carbon fraction in soil
49 (F4 and F5), H⁺ + Al and the CTC can be used as indicators of soil quality.

50

51 **Index terms:** organic farming, integrated production, conventional farming, principal components
52 analysis, cluster analysis.

53

54 **INTRODUÇÃO**

55 O Brasil está entre os nove principais países produtores de manga do mundo com uma área de
56 aproximadamente 70 mil hectares. Dentre as regiões produtoras, a região Nordeste se destaca,
57 alcançando, aproximadamente 55% da produção nacional, sendo o Vale do São Francisco o
58 eldorado brasileiro da produção e exportação de manga (Brasil, 2007). No entanto a maior parte
59 dessa produção se dá pelo uso do sistema de produção convencional. Embora esse sistema de
60 produção apresente função importante na produção de alimentos na região do Vale do São
61 Francisco, o mesmo apresenta forte dependência do aporte de insumos químicos, como fertilizantes
62 e pesticidas, De acordo com Cunha et al. (2012) podendo levar a degradação das propriedades
63 químicas e biológicas do solo, comprometendo sua sustentabilidade.

64 Como consequência é crescente o interesse pelo uso de práticas agrícolas mais conservacionistas,
65 como a produção integrada e o sistema orgânico de produção. De acordo com Embrapa (2015) no

66 sistema de produção integrada não se utilizam herbicidas e o uso de defensivos é reduzido pela
67 adoção de práticas alternativas de controle de pragas e patógenos, além da utilização de adubos
68 orgânicos. Segundo Silva et al., (2013) o sistema de produção orgânico elimina o uso de
69 fertilizantes químicos e pesticidas, utilizando técnicas definidas nos programas de certificação.

70 A avaliação da qualidade do solo é realizada através de indicadores de qualidade, podendo estes ser
71 de natureza química e microbiológica. Os indicadores de qualidade do solo devem ser escolhidos de
72 acordo com as características do solo, o uso e manejo adotado na produção. Nesse contexto, um
73 bom indicador deve ser, com base científica, fácil de ser mensurado e ser sensível às mudanças nos
74 sistemas de produção.

75 Geralmente são conhecidos efeitos isolados de diferentes manejos e uso do solo nos atributos
76 químicos e biológicos. No entanto, Araújo et al. (2012), afirmam que há a necessidade de avaliar
77 esses atributos em conjunto. Apesar da dificuldade de se obter um método prático e confiável para
78 estimar a qualidade do solo esta tem sido avaliada por intermédio da mensuração de indicadores
79 apropriados e pela sua comparação com valores desejáveis, conhecidos como limites críticos, em
80 diferentes intervalos de tempo. Além dos métodos convencionais baseados em estabelecer um
81 conjunto mínimo de indicadores, para estabelecer um ponto de referência e comparar com limites
82 críticos (Melo Filho et al., 2007), vem sendo amplamente utilizada a análise multivariada para
83 entender melhor os fatores que prejudicam o cultivo, a fim de melhorar o manejo, como encontrado
84 em diversos trabalhos. Assim, a utilização de análise multivariada dos dados poderá indicar
85 diferenças e estabelecer as relações entre os tratamentos e os atributos avaliados, tornando-se uma
86 ferramenta importante na análise das informações obtidas (Carneiro et al., 2009).

87 Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade do solo em diferentes sistemas de
88 produção de manga por meio de seus atributos químicos e microbiológicos utilizando-se técnicas de
89 análise multivariada, assim como identificar os que podem ser utilizados como indicadores.

90

91 **MATERIAL E MÉTODOS**

92 **Área de estudo e amostragem do solo**

93 O estudo foi realizado na região do Pólo de fruticultura irrigada, localizado nos municípios de
94 Petrolina-PE e Juazeiro-BA. Segundo a classificação de Köppen, a região apresenta clima do tipo
95 BShw' (semiárido quente com estação seca definida), com pluviosidade baixa e irregular,
96 precipitação e temperatura médias de 470 mm.ano⁻¹ e 26,2 °C, respectivamente (Teixeira et al.,
97 2008). A vegetação predominante na região é a do tipo caatinga hiperxerófila.

98 As áreas cultivadas com o sistemas de produção orgânico e integrado, no momento da coleta, foram
99 áreas convertidas, antes da conversão as mesmas eram cultivadas com sistema de produção
100 convencional. No período da coleta essas mesmas áreas já haviam sido convertidas aos sistemas de
101 produção orgânico e integrado por um período de 6 anos.

102 No cultivo convencional o solo é preparado com aração, gradagem e se faz uso contínuo de
103 herbicidas, defensivos e fertilizantes químicos de alta solubilidade. No sistema de produção
104 integrada (PI-Manga), reduz-se o uso de defensivos e adubos químicos, excluindo-se o uso de
105 herbicidas, seguindo as normas descritas em Inmetro (2015). No sistema de cultivo orgânico é
106 proibido o uso de herbicidas e defensivos agrícolas, bem como de fertilizantes químicos de alta
107 solubilidade (Brasil, 2008). Foram selecionadas quatro áreas cultivadas com mangueira (*Mangifera*
108 *indica* L.) var. Thommy Atkins para cada sistema de manejo nos Distritos irrigados da Adutora
109 Caraíba e Mandacaru, localizados no município de Juazeiro-BA, Senador Nilo Coelho e Bebedouro,
110 Petrolina-PE.

111 As coletas foram realizadas entre julho e agosto de 2010, sendo cada área dividida em quatro
112 subáreas nas quais foram coletadas amostras compostas, cada amostra composta foi formada por 3
113 amostras simples. Para coleta das amostras simples, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm,
114 utilizou-se o trado holandês e o percorrimto em ziguezague. Foram coletadas, ainda, amostras
115 compostas em três áreas com vegetação de Caatinga Hiperxerófila secundária, não alterada por um
116 período superior a 30 anos, para serem utilizadas como áreas de referência. Em seguida foram
117 realizadas as análises químicas e microbiológicas. Para construção deste, utilizou-se o banco de
118 dados das análises realizadas em 2010.

119

120 **Indicadores químicos do solo**

121 Foram determinados o pH em água (1:2,5), a condutividade elétrica (CE), a acidez potencial
122 (H+Al), os teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (Ntot) (Tedesco et al., 1995);
123 amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻); carbono solúvel em H₂O,; frações oxidáveis do carbono (FOX)
124 (Mendonça; Matos, 2005); alumínio (Al), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e
125 fósforo (P) (Donagema et al., 2011). A partir desses dados calcularam-se a soma de bases
126 (S=Ca+Mg+Na+K) e a capacidade de troca de cátions (CTC= S+H+Al) e as relações C:N e C:P.

127

128 **Indicadores microbiológicos**

129 Foram determinados o teor de C-CO₂ e a atividade microbiana (Jenkinson; Powlson, 1976); o
130 carbono (C-BMS) e o nitrogênio da biomassa microbiana (N-BMS) pelo método da fumigação-

131 extração desenvolvido por Vance et al. (1987) e descrito em Silva et al. (2007a,b). A respiração
132 basal do solo (RB) foi determinada de acordo com Powlson (1987). A partir desses dados foram
133 calculados o quociente metabólico do solo ($qCO_2 = C-BMS/C-CO_2$) (Depolli; Pimentel, 2005); a
134 relação C:N e o quociente microbiano ($qMIC = C-BMS/COT$).

135 **Análise estatística**

136 Os dados foram avaliados por análise de correlação de Pearson e análise descritiva, considerando os
137 parâmetros de posição, média, e de dispersão, desvio padrão e coeficiente de variação. A
138 normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) ($p \leq 0,05$). Em
139 seguida, os dados foram submetidos à análise multivariada utilizando-se dois diferentes conjuntos
140 de variáveis, envolvendo atributos químicos e microbiológicos, nas camadas de 0–10 e 10–20 cm,
141 isoladamente e em conjunto. Realizou-se a rotação de Varimax com o objetivo de maximizar a
142 variação entre os pesos de cada componente principal, em seguida realizou-se a análise de
143 componentes principais baseada na análise fatorial.

144 Foram realizadas análises de componentes principais (ACP) (Pearson, 1901) e de agrupamento
145 (AA).

146 A escolha das variáveis foi baseada na matriz de correlação de Pearson, e as variáveis com menores
147 desvios padrões e com alta correlação entre si foram retiradas para evitar problemas de
148 multicolinearidade. Na execução dos procedimentos estatísticos foi utilizado o software XLSTAT
149 (Addinsoft, 2014). Desta forma, foram definidas quais as variáveis podem ser utilizadas como
150 melhores indicadores de qualidade do solo quando se pretende avaliar diferentes sistemas de
151 produção de frutas.

152

153 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

154 A análise multivariada dos dados dos atributos químicos e microbiológicos do solo nas duas
155 profundidades de coleta (0-10 e 10-20 cm) foi realizada, em conjunto e separadamente. No entanto,
156 o uso dos dados da camada superficial do solo (0-10 cm) foram suficientes para agrupar os
157 diferentes sistemas de produção de manga na região do Vale do São Francisco em função da
158 qualidade do solo. Essa é a camada mais alterada pelas ações de manejo que influenciam
159 diretamente na qualidade química e microbiológica do solo. Assim, serão apresentadas apenas as
160 análises estatísticas relacionadas a essa camada.

161 Os dados relativos à análise em conjunto podem ser observadas na tabela 1 e figura 1 do apêndice.

162 A matriz primária foi composta por 37 variáveis considerando os atributos químicos e biológicos do
 163 solo. Após a análise de correlação e identificação dos menores desvios padrões foram selecionadas
 164 25 variáveis que apresentavam importância na explicação da variância total dos dados.

165 Os resultados das análises químicas e microbiológicas do solo, referentes às 15 áreas solos na
 166 camada de 0-10 cm, foram ordenados por meio da ACP (Tabela 1), onde os quatro primeiros fatores
 167 (F1, F2, F3 e F4) explicaram 79,87% da variabilidade dos dados, tendo F1 e F2 explicado 56,4%
 168 desta.

169

170 **Tabela 1.** Cargas fatoriais baseadas na análise de componentes principais dos atributos químicos e
 171 microbiológicos do solo na profundidade de 0 - 10 cm.

Variáveis	F1	F2	F3	F4	Comunalidade
C-BMS (mg.kg ⁻¹ solo)	0,779	0,180	0,252	-0,453	0,923
CN-BMS	0,605	0,301	0,394	-0,499	0,862
RB (g CO ₂ .kg ⁻¹ solo/ dia)	0,962	0,061	-0,056	0,086	0,940
qMic (mg.g ⁻¹ COT)	0,179	0,197	-0,247	-0,847	0,872
qCO ₂ (μg CO ₂ .g ⁻¹ C-BMS/ dia)	0,724	0,027	-0,313	0,505	0,878
Ntot (mg.kg ⁻¹)	0,002	0,590	0,730	0,043	0,884
COT (g.kg ⁻¹)	0,836	-0,051	0,330	0,126	0,827
C:N	-0,466	-0,577	-0,357	0,240	0,750
C:P	0,626	-0,353	0,500	0,192	0,898
C-H ₂ O (g.kg ⁻¹)	-0,124	0,697	0,100	0,068	0,729
C-K ₂ SO ₄ (g.kg ⁻¹)	0,899	-0,277	0,115	0,093	0,957
Cox-F1 (g.kg ⁻¹)	0,183	0,776	-0,188	0,430	0,867
Cox-F3 (g.kg ⁻¹)	0,978	0,031	0,069	0,053	0,978
Cox-F4 (g.kg ⁻¹)	-0,660	-0,392	0,342	-0,104	0,772
NOrg (mg.kg ⁻¹)	-0,071	0,195	0,772	0,328	0,768
NO ₃ ⁻ (mg.kg ⁻¹)	-0,074	0,542	-0,343	-0,340	0,534
NH ₄ ⁺ (mg.kg ⁻¹)	-0,146	-0,820	0,451	-0,149	0,930
P (cmol _c .dm ⁻³)	-0,443	0,794	0,091	-0,058	0,851
K (cmol _c .dm ⁻³)	-0,397	0,814	0,257	0,190	0,923
Mg (cmol _c .dm ⁻³)	-0,316	0,150	0,374	-0,115	0,908
Fe (cmol _c .dm ⁻³)	-0,260	-0,841	0,397	-0,099	0,945
CE (cmol _c .dm ⁻³)	-0,367	0,756	0,420	0,045	0,900
Na (cmol _c .dm ⁻³)	-0,205	0,201	-0,805	0,025	0,870
H+Al	-0,633	-0,593	0,189	0,077	0,830
CTC (cmol _c /dm ³)	-0,797	0,200	0,247	-0,004	0,942
Autovalor (λi)	7,779	6,323	3,791	2,075	
Variância (%)	31,117	25,292	15,163	8,301	
Variância acumulada (%)	31,117	56,409	71,572	79,873	

172 CBM (mg.kg⁻¹ solo) – carbono da biomassa microbiana; CN-BM – relação carbono/nitrogênio da biomassa microbiana; RB (g CO₂.kg⁻¹ solo/ dia)–
 173 respiração basal; qMic (mg.g⁻¹ COT) – quociente microbiano; qCO₂ (μg CO₂.g⁻¹ C-BMS/ dia)- quociente metabólico; Ntot (mg.kg⁻¹) – nitrogênio
 174 total, COT (g.kg⁻¹)– Carbono orgânico total, C:N – relação carbono:nitrogênio, C:P, – relação carbono:fósforo; C-H₂O carbono solúvel em água C-
 175 K₂SO₄ – carbono solúvel em sulfato de potássio, C-F1 (g.kg⁻¹) – fração oxidável 1, C-F3 (g.kg⁻¹)– Fração oxidável 3, C-F4(g.kg⁻¹)– Fração oxidável 4;
 176 NOrg (mg. kg⁻¹) – nitrogênio orgânico; NO₃⁻ (mg.kg⁻¹), – Nitrato NH₄⁺ – Amônio (mg.kg⁻¹); P (cmol_c.dm⁻³) - fósforo; K (cmol_c.dm⁻³) – potássio; Mg

177 (cmol_c.dm⁻³) – magnésio; Fe (mg.dm⁻³) – ferro; CE (dS.m⁻¹) – condutividade elétrica; Na (cmol_c.dm⁻³) sódio; H+Al- acidez potencial , CTC
178 (cmol_c.dm⁻³) – capacidade de troca catiônica.

179 * Valores em negrito correspondem para cada variável ao fator para o qual o coseno quadrado é o maior.

180

181 As cargas expressam a relação entre fatores e variáveis e permitem a identificação das variáveis de
182 maior importância (em negrito) dentro de cada fator.

183 O primeiro fator (F1) explica 31,11% da variabilidade dos dados e está associado com variáveis
184 ligadas ao carbono: carbono da biomassa microbiana (C-BMS), relação carbono: nitrogênio da
185 biomassa (CN-BMS), respiração basal (RBS), quociente metabólico (qCO₂), carbono orgânico total
186 (COT), relação carbono: fósforo (C:P), carbono solúvel em K₂SO₄ (C-K₂SO₄), frações oxidáveis do
187 carbono (Cox-F3, Cox-F4), e à capacidade tampão do solo: a acidez potencial (H+Al) e a
188 capacidade de troca catiônica (CTC), sendo, por isso indicadas para uso em sistemas de
189 monitoramento da qualidade do solo. O fator 2 (F2) explica 25,29% da variabilidade total dos dados
190 e está relacionado a relação C:N, carbono solúvel em água (C-H₂O), carbono da fração lábil (Cox
191 F1), com a disponibilidade de nutrientes como nitrato (N-NO₃), amônio (N-NH₄), fósforo (P),
192 potássio (K) e ferro (Fe) e à salinidade do solo, por meio da condutividade elétrica (CE). O terceiro
193 fator, que explica 15,16% da variância total dos dados originais, relaciona-se o nitrogênio total do
194 solo (Ntot) e ao nitrogênio na fração orgânica (N_{Org}) e, também, ao teor de sódio disponível (Na).
195 O quarto fator explica apenas 8,30% da variabilidade dos dados e está relacionado somente ao
196 quociente microbiano (qMIC).

197 Os atributos do solo que propiciaram os maiores índices de correlação com o primeiro componente
198 principal (r > 0,60) foi o COX-F3, RB, C-K₂SO₄, COT, C-BMS, qCO₂, COX F4, C:P e CN-BMS
199 (Tabela 1) onde explicam 31,11% da variabilidade dos dados. Esses atributos foram responsáveis
200 por discriminar os sistemas de cultivo quando se compara as áreas de referência. Essas variáveis
201 mostram-se mais sensíveis às mudanças de manejo do solo relacionadas a cada sistema de produção
202 de manga avaliados, podendo estes ser utilizados como indicadores quando se quer monitorar a
203 qualidade do solo em diferentes sistemas de produção de frutas e áreas de transição. Nunes et al.
204 (2009) e Ferreira et al. (2010) verificaram, por meio de análise multivariada, que entre os atributos
205 microbiológicos do solo o CBMS foi o que mais contribuiu para a separação da mata de áreas sob
206 diversos usos.

207 Sistemas de produção onde a maior parte dos resíduos vegetais adicionados ao solo permanece em
208 superfície, sendo somente uma pequena parte incorporada, contribuem para uma maior proteção da
209 superfície do solo dos processos erosivos, e conseqüentemente menores perdas do carbono orgânico
210 (Pinheiro et al., 2003). Esses resultados indicam que as variáveis ligadas ao carbono são mais

211 sensíveis às alterações no solo causadas pelos sistemas de manejo. Resultados semelhantes foram
 212 observados por Cunha et al. (2012) avaliando qualidade do solo sob diferentes sistemas de produção
 213 em Santo Antônio de Goiás (GO) e Casalinho et al. (2007) avaliando a qualidade do solo em áreas
 214 com uso agrícola na região de Pelotas (RS).

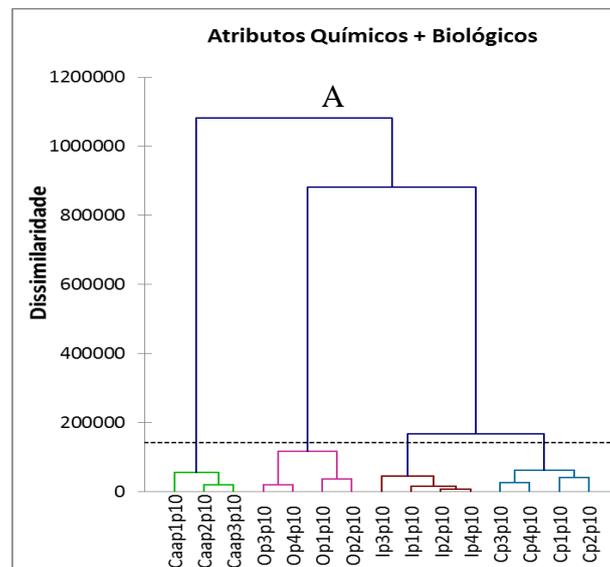
215 A coluna das comunalidades indica o quanto da variância de cada atributo é explicado pelos fatores
 216 em conjunto, observa-se que todos os atributos químicos e microbiológicos possuem forte relação
 217 com os fatores retidos, pois têm elevadas comunalidades (Tabela 1).

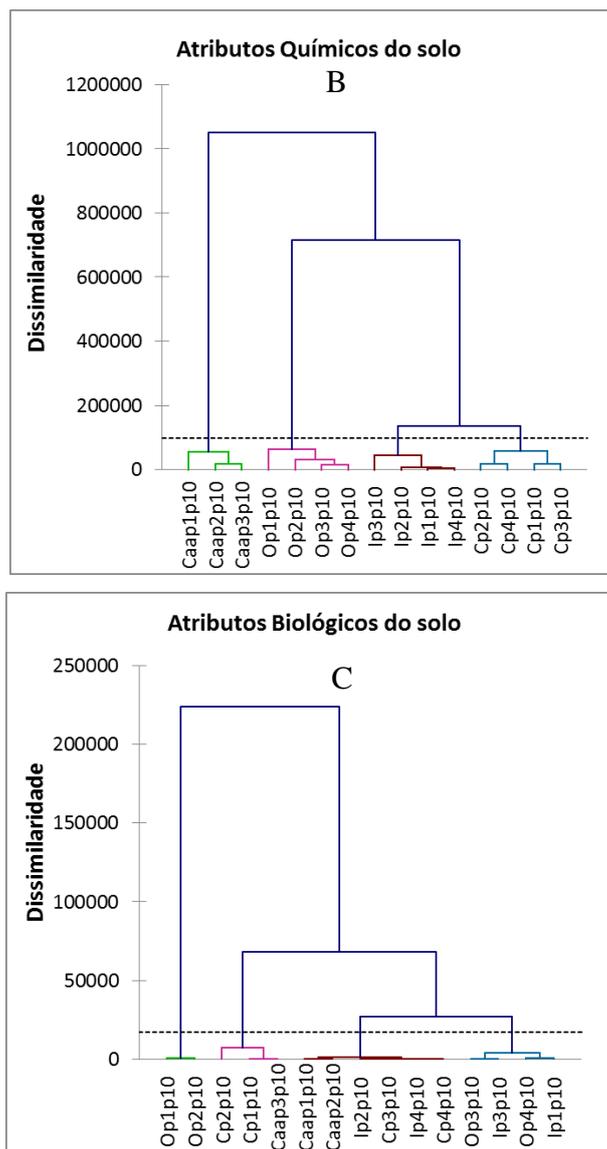
218 A partir dos resultados da ACP, utilizando-se as variáveis mais importantes dos fatores F1 e F2,
 219 procedeu-se a análise de agrupamento (AA) com objetivo de verificar a similaridade ou diferença
 220 dos solos das áreas avaliadas, agrupando-as de acordo com o sistema de produção adotado por meio
 221 dos atributos químicos e microbiológicos (Figura 1).

222

223 **Figura 1.** Análise de Agrupamentos das propriedades rurais que utilizam sistemas de produção
 224 Convencional, Integrado e Orgânico e das áreas de referência sob Caatinga utilizando-se a análise
 225 em conjunto dos atributos químicos e microbiológicos (A), químicos (B) e microbiológicos (C) de
 226 amostras de solo coletadas na profundidade de 0-10 cm.

227





228 O – Orgânico; I – Integrado; C – Convencional; Caa – Caatinga; P1- propriedade 1; P2- propriedade 2; P3- propriedade 3; P4- propriedade 4; P10 –
 229 profundidade 10 cm.
 230

231 Como se pode observar nas figuras 1A e 1B há formação de quatro grupos distintos, sendo cada
 232 grupo formado pelas áreas sob cada sistema de produção (orgânico, convencional e produção
 233 integrada) e caatinga. Esse agrupamento nos mostra que é possível distinguir as áreas que adotam
 234 esses diferentes sistemas de produção utilizando-se tanto os atributos químicos e microbiológicos
 235 do solo em conjunto, quanto os químicos isoladamente.

236 No entanto, os atributos microbiológicos (figura 1C) do solo, isoladamente, não conseguem separar
 237 os diferentes sistemas de produção. É possível que esse resultado seja em função das áreas terem
 238 sido convertidas de convencional para integrada e para orgânico, e o período de conversão não ser
 239 suficiente para expressar grandes diferenças na qualidade do solo quando se utiliza apenas atributos

240 microbiológicos. Outro motivo, possivelmente, é o fato das áreas sob cultivo integrado, utilizarem
241 adubação orgânica, favorecendo à manutenção de biomassa microbiana do solo. Esse mesmo
242 comportamento foi observado em trabalho realizado por Lima et al. (2007) avaliando indicadores de
243 qualidade do solo em sistemas de cultivo orgânico e convencional de algodão no semiárido
244 cearense.

245 Porém esses atributos conseguem separar duas propriedades do sistema de produção orgânica,
246 formando o primeiro grupo. O segundo grupo foi formado por duas propriedades do sistema
247 convencional (Cp2 e Cp1) se inserindo neste grupo uma propriedade da Caatinga (Caap3). O
248 terceiro grupo foi formado por áreas com sistemas de produção de integrado (Ip2 e Ip4) e
249 convencional (Cp3 e Cp4), estando inseridas nesse grupo duas propriedades das áreas de referência
250 (Caap1 e Caap2) e mostrando similaridades entre as variáveis analisadas dentro de cada sistema de
251 produção. O quarto grupo formou-se com propriedades do sistema de produção integrada (Ip1 e
252 Ip3) e orgânico (Op3 e Op4). Isso acontece, provavelmente, em razão do uso da adubação orgânica
253 nas áreas sob sistema de produção integrada, favorecendo a manutenção da biomassa microbiana do
254 solo (BMS).

255

256 **CONCLUSÕES**

257 Nas condições edafoclimáticas avaliadas, os atributos químicos COX F3 e F4, relação C:P, C-
258 K₂SO₄, COT, e os microbiológicos RB, C-BMS, qCO₂, P e CN-BMS são os mais recomendados
259 para monitoramento da qualidade do solo.

260 A aplicação de técnicas de análise multivariada no caso, componentes principais e a discriminante,
261 assim como o uso conjunto de propriedades, permitiram a distinção entre as áreas cultivadas sob
262 cultivo orgânico comparativamente às convencionais, integrada e caatinga, até mesmo as que
263 estavam em transição.

264 Os solos com cultivo convencional e cultivo integrado apresentaram comportamentos ou
265 características similares, quando considerado o conjunto das variáveis em estudo.

266

267 **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

268

269 ADDINSOFT, T. M. **XLSTAT Your data analysis solution**. 2014.

270 BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cadeia produtiva de frutas /**
271 **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Política Agrícola, Instituto

- 272 Interamericano de Cooperação para a Agricultura; Buainain, A. M.; Batalha, M. O.
273 (coordenadores). – Brasília: IICA: MAPA/SPA, v. 7, 2007.
- 274 CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos
275 físicos, químicos e biológicos do solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista**
276 **Brasileira de Ciência do Solo**, 2009.
- 277 BRASIL (2008). Instrução Normativa N° 64, de 18 de Dezembro de 2008. Disponível em:
278 <<http://www.ibd.com.br/Media/.../4c297318-e2cb-4784-aa22-f726260ce7e3.pdf>>. Acesso em:
279 26/09/2015.
- 280 CASALINHO H. D.; MARTINS S. R.; SILVA, J. B. DA; LOPES, Â. DA S. Qualidade do solo
281 Como Indicador De Sustentabilidade De Agroecossistemas. **Revista Brasileira Agrociência**,
282 Pelotas, 2007.
- 283 CUNHA, E. DE Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. DE B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A.
284 A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas
285 de cultivo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. V.16, n.1, p.56–63, 2012.
- 286 DEPOLLI, H.; PIMENTEL, M .S. Indicadores de qualidade do solo. In: AQUINO, A.M.; ASSIS,
287 R.L. (Ed.). *Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura*
288 *sustentável*. **Brasília: Embrapa-SCT**, 2005.
- 289 DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA,
290 J. H. M. (Org.). *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. **Rev. Rio de Janeiro: Embrapa**
291 **Solos**, 2011.
- 292 EMBRAPA. Produção Integrada de frutas. Disponível
293 em:<<http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/pif/manga/implantacao.htm>>. Acesso em: 25/09/2015.
- 294 FERREIRA, E. P. B.; SANTOS, H. P.; COSTA, J. R.; DE-POLLI, H.; RUMJANEK, N. G.
295 MICROBIAL soil quality indicators under different crop rotations and tillage managements.
296 **Revista Ciência Agronômica**, 2010.
- 297 INMETRO. **INSTRUÇÃO NORMATIVA/SARC N° 012, DE 18 DE SETEMBRO DE 2003**.
298 Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/credenciamento/organismos/pif.asp#manga>>. Acesso
299 em: 27/09/2015.
- 300 LIMA H. V. de.; OLIVEIRA T. S. de.; OLIVEIRA M. M. de.; MENDONÇA, E. de S.; LIMA, P. J.
301 B. F. Indicadores de qualidade do solo em sistemas de cultivo orgânico e convencional no semi-
302 árido cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2007.

- 303 MELO FILHO, J. F.; SOUZA, A. L. V.; SOUZA, L. A. Determinação do índice de qualidade
304 subsuperficial em Latossolo amarelo coeso dos tabuleiros costeiros, sob floresta natural. **Revista**
305 **Brasileira de Ciência do Solo**, 2007.
- 306 MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. Matéria orgânica do solo: métodos de análises. **Viçosa, MG:**
307 **Universidade Federal de Viçosa**, 2005.
- 308 NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO FILHO, J. A. DE; HOLANDA JÚNIOR, E. V; MENEZES, R. I.
309 DE Q. Impacto da queimada e de enleiramento de resíduos orgânicos em atributos biológicos de
310 solo sob caatinga no semiárido nordestino. **Revista Caatinga**, 2009.
- 311 PEARSON, K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. **Philos. Mag.**, 1901.
- 312 PINHEIRO, É. F. M.; PEREIRA, M. G.2; ANJOS, L. H. C. dos 2; PALMIERI, F.; SOUZA R. C.
313 de. Matéria orgânica em latossolo vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo e cobertura
314 do solo. **Revista brasileira Agrociência**, 2003.
- 315 RAO, R. C. Advanced statistical methods in biometric research. New York, **John Wiley & Sons**,
316 1952.
- 317 SILVA, D. J.; MOUCO, M. A. DO C.; GAVA, C. A. T.; GIONGO, V.; PINTO, J. M. Composto
318 orgânico em mangueiras (*mangifera indica* l.) cultivadas no semiárido do nordeste brasileiro.
319 **Revista Brasileira de Fruticultura**, 2013.
- 320 SILVA, E. E. da; AZEVEDO, P. H. S. de; DE-POLLI, H. Determinação do nitrogênio da biomassa
321 microbiana do solo (BMS-N). **Seropédica: Embrapa Agrobiologia**, 2007a.(Embrapa
322 Agrobiologia. Comunicado Técnico, 96).
- 323 SILVA, E. E. da; AZEVEDO, P. H. S. de; DE-POLLI, H. Determinação do carbono da biomassa
324 microbiana do solo (BMS-C). **Seropédica: Embrapa Agrobiologia**, 2007b (Embrapa
325 Agrobiologia. Comunicado Técnico, 98).
- 326 TEDESCO, M. J.; GIANELLO, G.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEIS, S. I. Análise de
327 solo, plantas e outros materiais. 2. ed. **Porto Alegre: UFRS**, 1995. (UFRS. Boletim Técnico, 5).
- 328 TEIXEIRA, A. H. DE C.; BASTIAANSSEN, W. G. M.; AHMAD, M. D.; MOURA, M. S. B.;
329 BOS, M. G. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and
330 natural ecosystems of semi-arid Brazil. **Journal of Hydrology**, 2008.

5. ARTIGO 2

CORRELAÇÕES CANÔNICAS DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE MANGA NO VALE DO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO

RESUMO – A análise de correlação canônica mede a existência e a intensidade da associação entre dois grupos de variáveis. Neste sentido, objetivou-se com o presente estudo estimar a correlação canônica entre os atributos químicos e microbiológicos do solo sob diferentes sistemas de produção de manga localizados no Vale do Submédio São Francisco, bem como identificar os atributos que melhor discriminam a qualidade do solo nessas áreas. Observa-se elevadas correlações no primeiro e segundo par canônico quando se avaliou os diferentes sistemas de produção (orgânico, integrado e convencional) e que os grupos considerados (atributos químicos e microbiológicos) não são independentes. Para o sistema de produção orgânico houve correlação canônica entre os atributos quociente microbiano (qMic) sobre o carbono orgânico total (COT) e Fração 4 Oxidável do carbono (Cox-F4) de maneira antagônica. Para o sistema integrado observa-se a influência de qMic sobre COT e Cox-F4 de maneira antagônica. Analisando todos os sistemas de produção juntos, constata-se uma correlação com carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS), respiração basal (RB) e quociente metabólico (qCO₂) com COT para o primeiro par canônico. No segundo par de correlação canônica, nos atributos químicos, as variáveis COT, Cox-F4 e relação carbono:nitrogênio (C:N) apresentaram valores altos (0,50; 0,91 e 0,53, respectivamente), indicando que esses são diretamente relacionados com os atributos microbianos, tendo uma relação antagônica com o atributo qMic.

Termos para indexação: indicadores de qualidade, sistema convencional, sistema orgânico, análise multivariada.

CANONICAL CORRELATIONS OF CHEMICAL AND BIOLOGICAL ATTRIBUTES OF THE SOIL UNDER DIFFERENT PRODUCTION SYSTEMS OF MANGA IN THE SUBMEDIUM SÃO FRANCISCO VALLEY SAN FRANCISCO

ABSTRACT - The canonical correlation analysis measures the existence and strength of the association between two sets of variables. In this sense, the objective of this study estimate the

34 canonical correlation between the chemical and microbiological attributes of soil under different
35 production systems of sleeve located in the Submedium São Francisco Valley San Francisco, as
36 well as identify the attributes that best discriminate soil quality in these areas. High correlations
37 observed in the first and second canonical pair when it assessed the different production systems
38 (organic, integrated and conventional) and that the groups considered (chemical and
39 microbiological attributes) are not independent. For the organic production system there was
40 canonical correlation among microbial quotient attributes (qMic) on the total organic carbon (TOC)
41 and 4 Oxidizable carbon Fraction (Cox-F4) of antagonistic way. For the integrated system notes the
42 influence of qMic about COT and Cox-F4 antagonistic way. Analyzing all production systems
43 together, there is a correlation with soil microbial biomass (CBMS), basal respiration (RB) and
44 metabolic quotient (qCO₂) with COT to the canonical first. In the second pair of canonical
45 correlation, in chemical attributes, variables COT, Cox-F4 and carbon: nitrogen ratio (C:N) showed
46 high values (0.50; 0.91 and 0.53 respectively), indicating that these are directly related to microbial
47 attributes, having an antagonistic relationship with the qMic attribute.

48

49 **Index terms:** quality indicators, conventional system, organic system, multivariate analysis.

50

51 **INTRODUÇÃO**

52 A intervenção do homem nos ecossistemas naturais, para produzir alimentos, influencia diversas
53 etapas dos processos pedológicos e dos ciclos biogeoquímicos, afetando sua estabilidade (Santos et
54 al., 2008; Martins et al., 2010). Além disso, as práticas de manejo utilizadas em um sistema de
55 produção podem interferir de forma direta e indireta na qualidade do solo e, se adequadas, podem
56 garantir a sustentabilidade do ecossistema e a melhoria da qualidade do solo (Bernardi, 2014).

57 O manejo de um agroecossistema pode ser considerado sustentável quando a qualidade dos recursos
58 solo, ar e água é mantida ou melhorada. No caso do solo, a qualidade depende da manutenção e
59 melhoria de seus atributos físicos, químicos e biológicos, garantindo sua contínua capacidade de
60 produzir alimentos e fibras (Lourente et al., 2011).

61 O solo é a base da maioria dos sistemas de produção agrícola, mais precisamente sua composição e
62 relação com as plantas (Gliessman, 2003). A produtividade dos sistemas naturais e agrícolas tem
63 íntima associação com os processos que ocorrem no solo que, por sua vez, são muito sensíveis à
64 interferência nestes sistemas. Entender como estes processos são influenciados pelo manejo é de
65 fundamental importância, pois permite inferir sobre o potencial produtivo a capacidade de uso
66 destes solos. Assim, ao longo do tempo um conjunto de métodos têm sido utilizados para a

67 avaliação da qualidade do solo. Indicadores químicos, físicos e biológicos vêm sendo utilizados nos
68 últimos anos para buscar identificar alterações na qualidade do solo e o desenvolvimento de
69 sistemas mais sustentáveis de manejo.

70 O Semiárido é um ecossistema complexo, coberto pela vegetação de Caatinga. A remoção da
71 vegetação nativa e o manejo inadequado têm alterado significativamente os indicadores de
72 qualidade do solo (IQS) ao longo do tempo, resultando em perda de fertilidade e produtividade
73 (Giongo et al., 2011). Os estudos das alterações de IQS no Semiárido brasileiro em função da
74 alteração do uso da terra ainda são incipientes. Em um trabalho de metanálise Kaschuk et al., (2011)
75 demonstraram que diferentes formas de exploração agrícola afetam diferentemente os IQS
76 associados a atividade microbiana.

77 Individualmente os IQS não descrevem adequadamente todos os aspectos de qualidade e as
78 interações entre diferentes atributos do solo (Rosa et al., 2012). Os métodos de análise univariada,
79 normalmente empregadas para identificar diferenças entre os atributos de qualidade do solo podem
80 não ser eficientes quando se visa identificar atributos que melhor discriminam sistemas de manejo
81 distintos. Por outro lado, métodos de análise multivariada permitem descrever mais adequadamente
82 as interrelações entre os IQS, permitindo inferências mais concretas em sistemas complexos como o
83 solo (Baretta et al, 2008). Entre estes métodos, a análise canônica (AC) pode ser uma ferramenta
84 importante quando se busca identificar atributos que melhor discriminem grupos e/ou tratamentos,
85 eliminando tempo e recursos gastos na avaliação de atributos que expressem baixa resposta (Rosa et
86 al., 2012).

87 A análise de correlação canônica é uma técnica de avaliação da interdependência entre grupos de
88 variáveis. A maximização da técnica representa uma tentativa de concentrar uma relação de alta
89 dimensão entre dois grupos de variáveis em pares de variáveis canônicas (Müller et al., 2012).
90 Neste estudo buscou-se estimar a correlação canônica entre os atributos químicos e microbiológicos
91 do solo sob diferentes sistemas de produção de manga localizados no Vale do Submédio São
92 Francisco, identificando os atributos que melhor discriminam a qualidade do solo nessas áreas.

93

94 **MATERIAL E MÉTODOS**

95 **Área de estudo e amostragem do solo**

96 O estudo foi realizado na região do Pólo de fruticultura irrigada, localizado nos municípios de
97 Petrolina-PE e Juazeiro-BA. Segundo a classificação de Köppen, a região apresenta clima do tipo
98 BShw' (semiárido quente com estação seca definida), com pluviosidade de 470 mm.ano⁻¹,
99 irregularmente distribuída, e temperatura média de 26,2 °C (Teixeira et al., 2008). A vegetação

100 predominante na região é a do tipo caatinga (savana estépica) predominantemente arbustiva, com
101 predomínio de espécies caducifólias, com caráter xerofítico e com a presença de espécies de
102 cactáceas.

103 As áreas cultivadas com o sistemas de produção orgânico e integrado, no momento da coleta, foram
104 áreas convertidas, antes da conversão as mesmas eram cultivadas com sistema de produção
105 convencional. No período da coleta essas mesmas áreas já haviam sido convertidas aos sistemas de
106 produção orgânico e integrado por um período de 6 anos.

107 No cultivo convencional o solo é preparado com aração, gradagem e se faz uso contínuo de
108 herbicidas, defensivos e fertilizantes químicos de alta solubilidade. No sistema de produção
109 integrada (PI-Manga), reduz-se o uso de defensivos e adubos químicos, excluindo-se o uso de
110 herbicidas, seguindo as normas descritas em Inmetro (2015). No sistema de cultivo orgânico é
111 proibido o uso de herbicidas e defensivos agrícolas, bem como de fertilizantes químicos de alta
112 solubilidade (Brasil, 2008). Foram selecionadas quatro áreas cultivadas com mangueira (*Mangifera*
113 *indica* L.) var. Thommy Atkins para cada sistema de manejo nos Distritos irrigados da Aduтора
114 Caraíba e Mandacaru, localizados no município de Juazeiro-BA, Senador Nilo Coelho e Bebedouro,
115 Petrolina-PE.

116 As coletas foram realizadas entre julho e agosto de 2010, sendo cada área dividida em quatro
117 subáreas nas quais foram coletadas amostras compostas, cada amostra composta foi formada por 3
118 amostras simples. Para coleta das amostras simples, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm,
119 utilizou-se o trado holandês e o percorrimto em ziguezague. Foram coletadas, ainda, amostras
120 compostas em três áreas com vegetação de Caatinga Hiperxerófila secundária, não alterada por um
121 período superior a 30 anos, para serem utilizadas como áreas de referência. Em seguida foram
122 realizadas as análises químicas e microbiológicas. Para construção deste, utilizou-se o banco de
123 dados das análises realizadas em 2010.

124

125 **Indicadores químicos do solo**

126 Foram determinados o pH em água (1:2,5), a condutividade elétrica (CE), a acidez potencial
127 (H+Al), os teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (N_{tot}) (Tedesco et al., 1995);
128 amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻), a determinação do teor C nas diferentes frações oxidáveis em
129 gradiente ácido(FOX) e carbono solúvel em H₂O (Mendonça; Matos, 2005); alumínio (Al),
130 potássio (K), cálcio (Mg), magnésio (Mg), sódio (Na) e fósforo (P) (Donagema et al., 2011). A
131 partir desses dados calcularam-se a soma de bases (S=Ca+Mg+Na+K) e a capacidade de troca de
132 cátions (CTC= S+H+Al) e as relações C:N e C:P.

133 **Indicadores microbiológicos**

134 Os teores de carbono (C-BMS) e nitrogênio da biomassa microbiana (N-BMS) foram determinados
135 pelo método da fumigação-extração desenvolvido por Vance et al. (1987) e descrito em Silva et al.
136 (2007a,b). A respiração basal do solo (RB) foi determinada de acordo com Powlson (1987). A partir
137 desses dados foram calculados o quociente metabólico do solo ($qCO_2 = C-BMS/C-CO_2$) (Depolli &
138 Pimentel, 2005); a relação C:N e o quociente microbiano ($qMIC = C-BMS/COT$).

139

140 **Análise estatística**

141 As variáveis pH, CE, H+Al, COT, Ntot, NH_4^+ , NO_3^- , FOX, carbono solúvel em H_2O , Al, K, Mg,
142 Na, P, S, CTC, C:N, C:P, C-BMS, N-BMS, RB, qCO_2 e $qMIC$ foram submetidas à análise de
143 correlação de Pearson com o objetivo de retirar as variáveis com alta correlação e menores desvios
144 padrões antes da realização da análise de correlação canônica.

145 Em seguida realizou-se a análise de correlações canônicas, considerando os dados originais
146 observados, para verificar as associações existentes entre o grupo de atributos microbiológicos do
147 solo (CBMS, CN- BMS, RB, $qMIC$ e qCO_2) com um segundo grupo formado pelos atributos
148 químicos do solo (Ntot, COT, C:N, COX F1, COX F4, N-NH₄, N-NH₃, NOrg, CE, P, Na, CTC e
149 V). Dessa forma, foi possível determinar 5 pares de variáveis estatísticas canônicas. Foram
150 estimadas as cargas canônicas, ou seja, as correlações entre as variáveis originais e suas respectivas
151 variáveis estatísticas canônicas e as cargas canônicas cruzadas que representam a correlação entre
152 uma variável original de um determinado grupo e a variável estatística canônica do outro grupo.

153 De forma preliminar à análise de correlação canônica, foram estimadas as correlações lineares
154 simples entre as variáveis como forma de avaliar a existência de multicolinearidade entre elas.

155 Utilizou-se o teste multivariado de significância Lambda de Wilks (aproximação da distribuição F)
156 para avaliar a significância das raízes canônicas conjuntamente. Além disso, utilizou-se o teste
157 generalizado de Shapiro-Wilk para verificar a existência de normalidade multivariada dos dados
158 utilizados, uma vez que o teste de significância da correlação canônica só tem validade quando os
159 vetores X e Y são normais multivariados (Ferreira, 2008; Protásio et al., 2012). Para a análise dos
160 dados utilizou-se o software Statistica®, versão 7.0.

161

162 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

163 Os valores das médias, desvio padrão (DP), mínimo e máximo dos atributos químicos e
164 microbiológicos dos solos em diferentes usos nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm podem ser
165 vistos na análise descritiva na Tabelas 1 e 2, respectivamente.

166 **Tabela 1.** Análise descritiva dos atributos químicos e microbiológicos dos solos em diferentes usos nas profundidades de 0-10 cm.

	orgânico				Convencional				Integrado				Caatinga			
	Média	DP	Mínimo	Máximo	Média	DP	Mínimo	Máximo	Média	DP	Mínimo	Máximo	Média	DP	Mínimo	Máximo
0 – 10 cm																
CBMS	534,10	143,80	374,50	670,10	222,20	101,20	96,30	311,90	345,80	52,90	293,40	413,00	253,10	34,20	213,70	274,50
CN-BMS	14,00	1,00	12,60	15,00	11,20	1,20	10,00	12,80	13,30	0,80	12,30	14,30	11,80	0,30	11,60	12,10
RB	0,30	0,10	0,20	0,40	0,10	0,00	0,00	0,10	0,10	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
qMic	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
qCO₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ntotal	447,70	14,30	430,40	465,40	375,40	87,80	271,60	479,50	547,40	53,80	511,90	626,40	409,00	30,00	377,50	437,20
COT	11,60	0,70	11,00	12,50	6,90	1,10	5,40	7,90	8,00	1,40	6,20	9,50	7,90	1,40	6,70	9,40
C:N	15,30	0,50	14,70	16,00	18,90	1,70	16,70	20,70	15,50	1,30	13,70	16,50	19,30	2,10	17,80	21,70
C-F1	1,60	0,20	1,30	1,80	1,60	0,70	0,50	2,00	1,90	0,40	1,50	2,30	0,40	0,00	0,40	0,40
C-F4	2,40	0,70	1,60	3,20	4,10	1,30	2,60	5,60	4,70	1,50	3,40	6,00	6,70	1,10	5,80	7,90
N-NO₃	120,50	58,10	66,70	197,10	189,50	99,00	85,60	280,70	160,00	46,30	91,50	193,00	51,70	11,30	38,60	58,50
N-NH₄	5,40	0,80	4,40	6,30	3,20	0,60	2,60	3,90	3,80	1,20	2,40	5,20	13,00	3,30	10,90	16,80
NOrg	321,70	53,00	263,80	377,20	254,90	103,20	143,60	391,60	383,60	98,30	329,30	530,80	344,30	21,00	328,10	368,10
P	8,30	3,80	4,60	13,30	48,90	13,30	29,10	57,90	113,70	35,40	90,20	166,30	4,30	2,10	2,70	6,80
Na	0,10	0,10	0,00	0,20	0,20	0,00	0,20	0,20	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
CE	0,20	0,10	0,20	0,30	0,30	0,20	0,20	0,50	1,10	0,30	0,80	1,40	0,20	0,20	0,10	0,40
CTC	4,40	1,70	3,20	6,80	7,70	2,40	4,50	9,90	8,70	0,30	8,40	9,00	7,90	2,10	6,20	10,20
V	83,10	10,00	73,20	93,30	80,60	5,30	74,50	85,30	84,50	3,50	80,50	87,50	58,50	17,40	46,30	78,40

167 CBM (mg.kg⁻¹ solo) – carbono da biomassa microbiana; CN-BM – relação carbono/nitrogênio da biomassa microbiana; RB (g CO₂.kg⁻¹ solo/ dia) – respiração basal; qMic (mg.g⁻¹ COT) – quociente microbiano; qCO₂ (□g
168 CO₂.g⁻¹ C-BMS/ dia) – quociente metabólico; Ntot (mg.kg⁻¹) – nitrogênio total, COT (g.kg⁻¹) – Carbono orgânico total, C:N – relação carbono:nitrogênio; C-F1 (g.kg⁻¹) – fração oxidável 1, C-F4(g.kg⁻¹) – Fração oxidável 4;
169 NOrg (mg. kg⁻¹) – nitrogênio orgânico; N-NO₃⁻ (mg.kg⁻¹), – Nitrito N-NH₄⁺ – Amônio (mg.kg⁻¹); , P (mg.dm⁻³) – fósforo; CE (dS.m⁻¹) – condutividade elétrica; Na (cmolc.dm⁻³) sódio; CTC (cmolc.dm⁻³) – capacidade de troca
170 catiônica; V (%).

171

172

173

174 **Tabela 2.** Análise descritiva dos atributos químicos e microbiológicos dos solos em diferentes usos na profundidade de 10-20 cm.

	orgânico				Convencional				Integrado				Caatinga			
	Média	DP	Mínimo	Máximo	Média	DP	Mínimo	Máximo	Média	DP	Mínimo	Máximo	Média	DP	Mínimo	Máximo
0 – 20 cm																
CBMS	545,20	123,80	428,30	708,40	278,40	72,70	201,40	366,10	272,40	30,50	241,10	308,40	241,60	114,30	150,10	369,70
CN-BMS	13,60	0,90	12,90	14,90	12,30	0,50	11,60	12,60	13,20	1,70	11,10	15,00	11,40	0,30	11,20	11,70
RB	0,30	0,10	0,20	0,30	0,10	0,10	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
qMic	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10
qCO₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ntotal	448,50	73,90	370,60	546,90	354,20	97,70	265,60	480,20	362,10	64,00	288,30	434,60	311,30	40,10	265,00	334,50
COT	11,30	0,40	10,90	11,80	7,60	1,90	5,60	9,60	6,50	1,50	4,70	8,50	6,60	1,00	5,40	7,20
C:N	16,20	1,00	15,20	17,10	25,40	10,70	12,90	37,40	16,00	1,00	15,10	17,30	22,70	2,40	20,60	25,20
Cox-F1	1,40	0,40	0,80	1,80	0,70	0,30	0,40	1,00	1,10	0,20	1,00	1,40	0,30	0,00	0,20	0,30
Cox-F4	2,30	0,50	1,90	2,90	5,30	1,80	3,50	7,30	4,40	1,70	2,20	6,30	5,50	1,30	4,00	6,30
N-NO₃	162,10	44,60	106,60	214,80	164,90	109,40	36,90	300,70	156,00	78,70	67,80	234,20	27,80	7,90	18,90	34,20
N-NH₄	4,80	0,40	4,50	5,40	3,40	1,00	2,40	4,50	4,10	0,50	3,60	4,60	4,00	2,70	2,30	7,20
NOrg	281,60	70,10	203,70	371,60	250,70	175,60	81,50	440,90	256,80	68,70	180,60	319,60	279,50	35,20	238,90	302,00
P	17,60	12,70	6,20	35,30	25,70	9,10	17,20	37,10	59,20	25,90	35,90	84,80	2,20	0,30	1,90	2,50
Na	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,20	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CE	0,20	0,10	0,20	0,30	0,20	0,10	0,10	0,40	1,00	0,40	0,60	1,50	0,10	0,00	0,10	0,10
CTC	4,30	0,90	3,30	5,10	5,90	0,40	5,30	6,10	6,80	0,40	6,20	7,10	6,40	2,90	4,30	9,70
V	87,60	5,60	83,00	94,60	73,10	10,30	60,90	83,80	82,30	3,70	77,20	85,10	55,40	20,90	40,20	79,20

175 CBM (mg.kg⁻¹ solo) – carbono da biomassa microbiana; CN-BM – relação carbono/nitrogênio da biomassa microbiana; RB (g CO₂.kg⁻¹ solo/ dia)– respiração basal; qMic (mg.g⁻¹ COT) – quociente microbiano; qCO₂ (□g
176 CO₂.g⁻¹ C-BMS/ dia)- quociente metabólico; Ntot (mg.kg⁻¹) – nitrogênio total, COT (g.kg⁻¹)– Carbono orgânico total, C:N – relação carbono:nitrogênio; C-F1 (g.kg⁻¹) – fração oxidável 1, C-F4(g.kg⁻¹)– Fração oxidável 4;
177 NOrg (mg. kg⁻¹) – nitrogênio orgânico; N-NO₃⁻ (mg.kg⁻¹), – Nitrito N-NH₄⁺ – Amônio (mg.kg⁻¹); , P (mg.dm⁻³)- fósforo;CE (dS.m⁻¹) – condutividade elétrica; Na (cmolc.dm⁻³) sódio; CTC (cmolc.dm⁻³) – capacidade de troca
178 catiônica.; V (%).

1 Quando se avaliou os sistemas de produção separadamente, observou-se que a análise de
 2 correlação canônica, apenas os sistemas integrado e orgânico apresentaram correlações
 3 significativas, para áreas da caatinga e com sistema de produção convencional revelou que os
 4 grupos de variáveis químicas e microbiológica não apresentaram correlações significativas.
 5 Na tabela 3 observa-se a correlação canônica dos atributos químicos e microbiológicos do
 6 solo para os sistemas de produção orgânico e integrado.
 7 A significância de pelo menos um par canônico, leva a conclusão de que os grupos
 8 considerados não são independentes, podendo utilizar seus coeficientes para discussões mais
 9 específicas. Tanto para o sistema orgânico quanto de integrado obteve-se apenas 1 par
 10 canônico, com $r=0,97$ e $0,95$, respectivamente.

11

12 **Tabela 3.** Coeficiente de correlação canônica dos atributos microbiológicos e químicos do
 13 solo para os sistemas de produção orgânico e integrado nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm
 14 de profundidade.

Grupo	Variáveis	Sistemas de produção	
		Orgânico	Integrado
Microbiológicas	CBMS	-0,49	-0,20
	CN-BMS	-0,43	0,17
	RB	-0,32	0,05
	qMic	-0,81	0,78
	qCO ₂	0,09	0,03
Químicas	Ntotal	0,02	-0,15
	COT	0,89	-0,97
	C:N	0,22	0,03
	Cox-F1	-0,39	-0,10
	Cox-F4	0,87	-0,92
	N-NO3	-0,14	-0,27
	N-NH4	0,42	-0,12
	NOrg	0,12	0,10
	CE	-0,38	0,17
	P	-0,35	-0,27
	Na	-0,05	-0,23
	CTC	-0,29	-0,21
	V	-0,25	0,03
r		0,97	0,95
Significância		p<0,05	p<0,05

15
16
17

CBM (mg.kg⁻¹ solo) – carbono da biomassa microbiana; CN-BM – relação carbono/nitrogênio da biomassa microbiana; RB (g CO₂.kg⁻¹ solo/dia) – respiração basal; qMic (mg.g⁻¹ COT) – quociente microbiano; qCO₂ (□g CO₂.g⁻¹ C-BMS/ dia) – quociente metabólico; Ntot (mg.kg⁻¹) – nitrogênio total, COT (g.kg⁻¹) – Carbono orgânico total, C:N – relação carbono:nitrogênio; C-F1 (g.kg⁻¹) – fração oxidável 1, C-F4(g.kg⁻¹) –

18 Fração oxidável 4; N_{Org} (mg. kg⁻¹) – nitrogênio orgânico; N-NO₃⁻ (mg.kg⁻¹), – Nitrato N-NH₄⁺ – Amônio (mg.kg⁻¹); , P (mg.dm⁻³)-
19 fósforo;CE (dS.m⁻¹) – condutividade elétrica; Na (cmol_c.dm⁻³) sódio; CTC (cmol_c.dm⁻³) – capacidade de troca catiônica.; V (%)

20 Do conjunto de atributos microbianos, o quociente microbiano (qMic) apresentou o maior
21 coeficiente de correlação canônica para os dois sistemas de produção. No segundo conjunto, o
22 carbono orgânico total (COT) e a fração do carbono (Cox-F4) apresentam os maiores
23 coeficientes em ambos os sistemas de produção. No entanto, no sistema integrado, ambas as
24 variáveis apresentam sinal negativo.

25 A elevada correlação antagônica de qMIC e de COT e Cox-F4 para o sistema orgânico e
26 integrado indica que, nas condições destes sistemas, o aumento de uma dessas variáveis pode
27 estar se dando a partir do decréscimo do outro. Considerando que valor de qMic é uma
28 divisão do CBMS e o COT, implica que pode estar ocorrendo um importante aumento do
29 CBMS em detrimento do C orgânico.

30 O maior valor de correlação qMic (-0,81) indica a maior conversão de COT em carbono
31 microbiano (CMic). Quando a biomassa microbiana do solo está sob algum fator de estresse,
32 a capacidade de utilização do carbono (C) é diminuída, reduzindo assim a relação qMic
33 (Anderson & Domsch, 1993). Segundo Gama-Rodrigues; Gama-Rodrigues (2008), em solos
34 com matéria orgânica de difícil decomposição a biomassa microbiana encontra-se sob estresse
35 e é incapaz de utilizar totalmente o C orgânico; nesse caso, o qMic tende a diminuir.

36 O valor de biomassa microbiana mais elevada é reflexo de uma situação bastante particular
37 para a microbiota do solo nesses sistemas de produção estudados (orgânico e integrado), que é
38 estimulada pelo fornecimento de materiais orgânicos com diferentes graus de suscetibilidade à
39 decomposição, originados da vegetação deixada sobre o solo e dos compostos e
40 biofertilizantes utilizados. Assim, as condições distintas do solo sob sistema de produção
41 orgânico (Tabela 3), juntamente com menores perturbações decorrentes das práticas de
42 manejo tornam possível a existência de maiores teores de biomassa microbiana, indicando o
43 maior equilíbrio da microbiota do solo nesse ecossistema. O mesmo comportamento se repete
44 para o sistema de produção integrado. Observa-se a influência de qMic sobre COT e Cox-F4 e
45 relação C:N de maneira antagônica (Tabela 3).

46 O qCO₂ tem sido reportado como um indicador da condição de estresse da biomassa
47 microbiana do solo (Maluche-Baretta et al., 2006). Sendo esta variável considerada um
48 atributo supressor, tendo pouca influência na discriminação das áreas. Resultados
49 semelhantes foram encontrados por Baretta et al., 2008. Portanto, no sistema onde há maior
50 aporte de matéria orgânica (sistemas de produção orgânico e integrado), o qCO₂ apresentou

51 baixos valores de r canônico, apresentando valores de 0,09 e 0,03, respectivamente (Tabela
52 3).

53 observou-se que a análise de correlação canônica para áreas da caatinga e com sistema de
54 produção convencional revelou que os grupos de variáveis químicas e microbiológica não
55 apresentaram correlações significativas.

56

57 **Tabela 4.** Coeficiente de correlação canônica dos atributos microbiológicos e químicos do
58 solo para os sistemas de produção convencional e áreas de caatinga nas profundidades de 0-10
59 e 10-20 cm de profundidade.

60

Grupo	Variáveis	Sistemas de produção	
		Convencional	Caatinga
Microbiológicas	CBMS	0,22	-0,12
	CN-BMS	0,20	-0,3
	RB	-0,09	0,03
	qMic	-0,60	0,38
	qCO ₂	-0,30	0,08
Químicos	Ntotal	-0,09	-0,57
	COT	0,88	-0,953
	C:N	0,76	-0,23
	Cox-F1	0,21	-0,28
	Cox-F4	0,90	-0,89
	N-NO ₃	0,68	-0,52
	N-NH ₄	0,44	-0,33
	NOrg	-0,31	-0,52
	CE	0,04	0,03
	P	0,07	0,12
	Na	-0,08	0,33
	CTC	-0,07	-0,15
	V	-0,04	-0,19
Significância		p<0,05	p<0,05

61 CBM (mg.kg⁻¹ solo) – carbono da biomassa microbiana; CN-BM – relação carbono/nitrogênio da biomassa microbiana; RB (g CO₂.kg⁻¹ solo/
62 dia)– respiração basal; qMic (mg.g⁻¹ COT) – quociente microbiano; qCO₂ (□g CO₂.g⁻¹ C-BMS/ dia)- quociente metabólico; Ntot (mg.kg⁻¹) –
63 nitrogênio total, COT (g.kg⁻¹)– Carbono orgânico total, C:N – relação carbono:nitrogênio; C-F1 (g.kg⁻¹) – fração oxidável 1, C-F4(g.kg⁻¹)–
64 Fração oxidável 4; NOrg (mg. kg⁻¹) – nitrogênio orgânico; N-NO₃⁻ (mg.kg⁻¹), – Nitrato N-NH₄⁺ – Amônio (mg.kg⁻¹); , P (mg.dm⁻³)-
65 fósforo;CE (dS.m⁻¹) – condutividade elétrica; Na (cmol_c.dm⁻³) sódio; CTC (cmol_c.dm⁻³) – capacidade de troca catiônica.; V (%)

66

67 Na Tabela 5 observa-se os coeficientes de correlação canônica para os atributos
68 microbiológicos e químicos do solo nos sistemas de produção orgânico, convencional e
69 integrado bem como as áreas de referências da caatinga em duas profundidades 0-10 e 10-20

70 cm. Dos cinco pares canônicos extraídos, apenas os dois primeiros pares foram significativos
71 ($p \leq 0,01$), com uma correlação canônica $r = 0,92$ e $0,79$, respectivamente (Tabela 4).

72 **Tabela 5.** Coeficiente de correlação canônica dos atributos microbiológicos e químicos do
73 solo para o sistema de produção orgânico, integrado e convencional, tendo como referência,
74 áreas da caatinga, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm de profundidade.

Grupo	Variáveis	Pares Canônicos	
		1	2
Microbiológicas	CBMS	-0,67	-0,13
	CN-BMS	-0,30	-0,16
	RB	-0,83	-0,39
	qMic	0,16	-0,68
	qCO ₂	-0,65	-0,45
Químicos	Ntotal	-0,22	0,11
	COT	-0,83	0,50
	C:N	0,01	0,53
	Cox-F1	-0,38	-0,10
	Cox-F4	0,14	0,91
	N-NO ₃ ⁻	-0,17	0,19
	N-NH ₄ ⁺	-0,02	0,31
	NOrg	0,02	0,01
	CE	0,20	0,02
	P	0,10	0,15
	Na	0,16	-0,26
	CTC	0,41	0,35
	V	-0,36	-0,13
	r		0,92
Significância		$p < 0,01$	$p < 0,01$

75 CBM (mg.kg⁻¹ solo) – carbono da biomassa microbiana; CN-BM – relação carbono/nitrogênio da biomassa microbiana; RB (g CO₂.kg⁻¹ solo/
76 dia)– respiração basal; qMic (mg.g⁻¹ COT) – quociente microbiano; qCO₂ (□ g CO₂.g⁻¹ C-BMS/ dia)- quociente metabólico; Ntot (mg.kg⁻¹) –
77 nitrogênio total, COT (g.kg⁻¹)– Carbono orgânico total, C:N – relação carbono:nitrogênio; C-F1 (g.kg⁻¹) – fração oxidável 1, C-F4(g.kg⁻¹)–
78 Fração oxidável 4; NOrg (mg. kg⁻¹) – nitrogênio orgânico; N-NO₃⁻ (mg.kg⁻¹), – Nitrato N-NH₄⁺ – Amônio (mg.kg⁻¹); , P (mg.dm⁻³)-
79 fósforo;CE (dS.m⁻¹) – condutividade elétrica; Na (cmolc.dm⁻³) sódio; CTC (cmolc.dm⁻³) – capacidade de troca catiônica.; V (%)

80

81 A variável microbiológica apresentou maiores valores de correlação canônica (CC) para o
82 atributo microbiano RB e CBMS (-0,83; -0,67, respectivamente) no primeiro par canônico
83 (Tabela 5). A alta correlação canônica para RB pode estar relacionada à grande
84 disponibilidade de carbono metabolizável. Esse resultado reflete uma situação bastante
85 particular para a microbiota do solo nos sistemas orgânico e integrado, uma vez que a
86 microbiota é estimulada pelo fornecimento contínuo de materiais orgânicos com diferentes
87 graus de suscetibilidade à decomposição, originados da vegetação. Os valores encontrados
88 denotam a distinção entre as áreas avaliadas, sendo a RB e o CBMS os, maiores, responsáveis

89 por essa discriminação. Como pode ser confirmado observando as maiores médias para estas
90 variáveis obtidas para os sistemas de produção orgânicos e integrado, respectivamente
91 (Tabelas 1 e 2).

92 No primeiro par canônico as variáveis em destaque, CBMS, qCO_2 e, principalmente, RB,
93 todas com correlações negativas, no grupo das variáveis microbiológicas, que tem maior
94 relação direta com o COT no grupo das variáveis químicas (Tabela 5). Esses resultados
95 demonstram forte relação entre o aporte de matéria orgânica no sistema de cultivo e a
96 atividade microbiana no solo. No entanto, Tu et al. (2006) afirmam que elevado qCO_2 pode
97 significar rápida transformação de resíduos orgânicos em nutrientes para as plantas ou pode
98 ser indicativo de estresse sobre a biomassa microbiana pela perturbação do solo,
99 principalmente pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas durante as atividades de
100 colheita e preparo do solo. Por outro lado, os atributos químicos N_{tot} , Cox-F1, $N-NO_3^-$, $N-$
101 NH_4^+ , $NOrg$, CE, P, Na, CTC e V não influenciaram diretamente os atributos microbianos do
102 solo, em virtude de seus baixos valores dos coeficientes de correlação canônica.

103 Os sinais negativos para as variáveis em destaque (RB e CBMS) indicam que quanto maior
104 for a RB do solo maior será o teor de CBMS e vice versa, uma vez que ambos estão
105 relacionados à atividade microbiana, à reserva e disponibilidade de carbono do solo. As áreas
106 apresentaram um elevado valor de RB e CBMS, sendo atributos com alto potencial para
107 discriminação para a qualidade do solo entre os sistemas de produção, conforme apresentado
108 na tabela 5.

109 Entre as variáveis químicas, no segundo par canônico, os atributos COT, Cox-F4 e C:N
110 apresentaram valores altos no segundo par de correlação canônica (0,50; 0,91 e 0,53,
111 respectivamente), indicando que esses são diretamente relacionados com os atributos
112 microbianos, tendo uma relação antagonica com o atributo $qMic$ (tabela 5). Além de
113 armazenador de nutrientes, o CBMS é reportado como indicador rápido da interferência
114 antrópica (Baretta et al., 2008). Por outro lado, os atributos químicos apresentaram valores
115 negativos do coeficiente de correlação canônica para os atributos N_{total} , COT, Cox-F1, Cox-
116 F4, $N-NO_3^-$, $N-NH_4^+$ e V bem como os atributos microbiológicos, exceto o $qMic$ (par
117 canônico 1).

118 O sinal negativo do coeficiente de correlação nos atributos químicos e microbiológicos,
119 quando comparado com atributos de mesmo sinal indica que ele tem a mesma tendência de
120 crescimento ou decréscimo, ou seja, se um deles aumenta o outro tem a mesma tendência,

121 o mesmo é válido para a diminuição. Por outro lado, se os sinais dos atributos comparados
122 foram contrastantes, isso significa que quando um cresce o outro decresce.

123 Maluche-Baretta et al. (2006), estudando o sistema convencional e orgânico de produção de
124 maçãs em Urupema, SC, observaram por meio da ACC que o atributo microbiano CBM foi
125 influenciado positivamente pelos teores de fósforo (P), alumínio trocável (Al) e COT no solo,
126 e apresentaram correlação negativa com os teores de potássio (K), cálcio (Ca) e com o pH
127 (H₂O).

128 Assim, as condições distintas do solo sob sistema de produção orgânico (tabela 1), juntamente
129 com a maior ausência de perturbações decorrentes de atividade antrópica, tornam possível a
130 existência de maiores teores de biomassa microbiana, indicando o maior equilíbrio da
131 microbiota do solo nesse ecossistema.

132 Os resultados obtidos para essas áreas não proporcionaram influência para discriminação das
133 áreas, isso quer dizer que os grupos analisados são independentes entre si para esses modos de
134 produção.

135

136 **CONCLUSÕES**

137 De acordo com a análise de correlação canônica, quando analisou-se os atributos químicos e
138 microbiológicos do solo os sistemas de produção orgânico e integrado se mostraram
139 diferentes, demonstrando características próprias para cada sistema.

140 Os atributos que foram responsáveis pela discriminação dos sistemas de produção foram as
141 variáveis

142 A discriminação dos sistemas de produção foram influenciadas, principalmente, pela relação
143 entre os atributos microbiológicos e o carbono orgânico total.

144 O CBMS, foi o atributo que mais contribuiu para discriminar os sistemas orgânico e integrado
145 de produção de manga, seguido, pelo qCO₂ e pela respiração basal.

146 Método de análise multivariada (análise de correlação canônica) é importante no estudo das
147 alterações de atributos do solo, discriminados precocemente, nos sistemas de produção
148 convencional, integrado e orgânico de manga.

149

150

151

152

153 **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

154

155 ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. The metabolic quociente for CO₂ (qCO₂) as a specific
156 activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the
157 microbial biomass of forest soils. **Soil Biol. Biochem**, 1993.

158 BARETTA, D.; DUARTE, C. R.: MALUCHE BARETTA; CARDOSO, E. J. B. N. Análise
159 multivariada de atributos microbiológicos e químicos do solo em florestas com *Araucaria*
160 *angustifolia*. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 2008.

161 BERNARDI, A. C. DE C.; NAIME, J. DE M.; RESENDE, Á. V. DE.; BASSOI, L. H.;
162 INAMASU, R. Y. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, DF :
163 **Embrapa**, 2014.

164 GAMA-RODRIGUES, E.F. & GAMA-RODRIGUES, A.C. Biomassa microbiana e ciclagem
165 de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F. A. O.,
166 eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais**,
167 2008.

168 GIONGO, V.; GALVÃO, S. R. da S.; SALVIANO, A. M.; GAVA, C. A. T.; CUNHA, T. J.
169 F. Soil organic carbon in the Brazilian semi-arid tropics. **Dynamic Soil, Dynamic Plant**,
170 2011

171 GLIESSMAN, S. R. Agroecologia y agroecosistemas. **Ciência & Ambiente**. Santa Maria,
172 2003.

173 KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Quantifying effects of different agricultural land
174 uses on soil microbial biomass and activity in Brazilian biomes:inferences to improve soil quality.
175 **Plant Soil**, 2011.

176 LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI A. M. T.; GOMES C. F.;
177 GASPARINI A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob
178 diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**,
179 Goiânia, 2011.

180 MARTINS, C. R.; FARIA, J. L. C.; FARIAS, R. de M. Sistemas de produção de macieiras
181 influenciam o teor dos nutrientes no solo, no tecido foliar e na fruta. **Revista da FZVA**.
182 Uruguaiana, 2010.

183 MÜLLER, L.; MANFRON, P. A.; MEDEIROS, S. L. P.; RIGÃO, M. H.; BANDEIRA, A.
184 H.; TONETTO, C. J.; DOURADO-NETO, D. Correlações de Pearson e canônica entre

- 185 componentes da matéria seca da forragem e sementes de azevém. **Revista Brasileira de**
186 **Sementes**, 2012.
- 187 PROTÁSIO, T. DE P.; TRUGILHO, P. F.; NEVES, T. A.; VIEIRA C. M. M. Análise de
188 correlação canônica entre características da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus*.
189 **Scientia Forestalis**, Piracicaba, 2012.
- 190 ROSA, E. DE F. F. DA; STÜPP, J. J.; AMARANTE, C. V. T. DO; MAFRA, Á. L. Atributos
191 físicos do solo em pomares de maçãs ‘Royal Gala’ em sistemas convencional e orgânico de
192 produção. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, 2012.
- 193 TU, C.; RISTAINO, J.B. & HU, S. Soil microbial biomass and activity in organic tomato
194 farming systems: Effects of organic inputs and straw mulching. **Soil Biol. Biochem**, 2006.
- 195

6. RTIGO 3

ESTATÍSTICA MULTIVARIADA COMO FERRAMENTA NA IDENTIFICAÇÃO DE INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

RESUMO – O objetivo deste trabalho foi identificar indicadores de qualidade do solo a partir de características químicas, físicas e microbiológicas utilizando técnicas de estatística multivariada. Foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0–10, 10–20 e 20–40 cm, em quatro propriedades rurais com diferentes usos agrícolas e em áreas adjacentes de caatinga nativa. Para a análise de componentes principais (ACP) as variáveis utilizadas foram: argila, areia, argila dispersa em água, estabilidade de agregados, matéria orgânica, potássio, cálcio, magnésio, soma de bases e capacidade de troca catiônica. Posteriormente, somente as variáveis que apresentaram valores acima de 0,65 na ACP foram utilizadas na análise de agrupamento (AA), utilizando-se o método de Ward e a distância Euclidiana. Identificou-se, também, que o modelo de melhor ajuste para expressar a qualidade dos solos foi composto por três fatores, explicando cerca de 80% da variância total. O primeiro fator explicou 51,83% da variabilidade total dos dados, sendo constituído pelas variáveis diretamente ligadas ao arranjo das partículas do solo e, conseqüentemente, à agregação e à fertilidade do solo. Na AA, de modo geral, não verificou diferença entre o uso agrícola e a caatinga, em todos os grupos, com bases nas características físicas, químicas do solo. No entanto, foi possível dividir os acessos com dissimilaridade de aproximadamente 25 de distância Euclidiana, porém somente um grupo foi formado (G1), levando-se em consideração a contribuição conjunta das variáveis dos atributos químicos e físicos. A AA não foi capaz de separar as áreas com uso agrícola e com caatinga. Porém, conseguiu arranjar os grupos pela similaridade das características dos tipos de solos.

Termos para indexação: atributo químico, atributo microbiológico, atributo físico, análise de agrupamento, análise de componentes principais.

MULTIVARIATE STATISTICS AS A TOOL IN IDENTIFYING INDICATORS OF SOIL QUALITY

33 **ABSTRACT** – The aim of this study was to identify indicators of soil quality from chemical,
34 physical and microbiological characteristics using multivariate statistical techniques. Soil
35 samples were collected in layers of 0-10, 10-20 and 20-40 cm, in four rural properties with
36 different agricultural uses and in adjacent areas of caatinga nativa. Principal component
37 analysis (ACP) the variables used were: clay, sand, clay dispersed in water, organic matter,
38 aggregate stability, potassium, calcium, magnesium, sum of bases and cationic exchange
39 capacity. Subsequently, only the variables that presented values above 0.65 in the ACP were
40 used in the cluster analysis (AA), using the method of Ward and the Euclidean distance. It
41 was identified that the best-fit model to express the quality of soils was composed of three
42 factors, explaining about 80% of the total variance. The first factor explained 51.83% of the
43 total variability of the data, being constituted by the variables directly linked to the
44 arrangement of soil particles and, consequently, to the aggregate and soil fertility. In AA, not
45 generally checked difference between agricultural use and the caatinga, in all groups, based
46 on physical, chemical characteristics of the soil. However, it was possible to split the hits in
47 six, but only one group was formed (G1), taking into consideration the joint contribution of
48 the variables of chemical and physical attributes. The AA was not able to separate the areas
49 with agricultural use and caatinga. However, managed to get the groups by similarity of the
50 characteristics of soil types.

51

52 **Index terms:** chemical attribute, microbiological attribute, attribute, group analysis, physical
53 analysis of main components.

54

55 **INTRODUÇÃO**

56 A remoção da cobertura vegetal bem como a utilização de práticas agropecuárias inadequadas
57 provocam redução nos processos de ciclagem de nutrientes e aceleração da decomposição da
58 matéria orgânica (Zalamena, 2008), acarretando na modificação em características físicas,
59 químicas (Carneiro et al., 2009; Portugal et al., 2010) e microbiológicas do solo (Silva et al.,
60 2007) comprometendo o suprimento de água, a aeração, a disponibilidade de nutrientes, a
61 atividade microbiana e a penetração de raízes, dentre outros.

62 Nos últimos anos, pesquisadores da área de ciência do solo tem se preocupado com o tema
63 qualidade do solo, segundo Mota et al. (2013) procurando identificar e selecionar indicadores
64 associados a determinadas funções que o solo deve desempenhar e, definir valores

65 quantitativos e mensuráveis desses indicadores. No solo, existem diversas inter-relações entre
66 os atributos físicos, químicos e biológicos que controlam os processos e os aspectos
67 relacionados à sua variação no tempo e no espaço. Assim, de acordo com Carneiro et al.
68 (2009) qualquer alteração pode modificar diretamente sua estrutura e sua atividade biológica
69 e, conseqüentemente, sua fertilidade, com reflexos nos agroecossistemas, podendo promover
70 prejuízos à qualidade do solo e à produtividade das culturas. Diante disso, a variação e a
71 avaliação desses atributos, determinada pelo manejo e uso do solo, são importantes para a
72 definição da melhor estratégia visando à sustentabilidade do sistema.

73 De forma geral, o manejo dos solos agrícolas associado a fatores físicos e climáticos tem
74 trazido sérios problemas quanto à sustentabilidade do sistema, resultando em prejuízos
75 ambientais e impactos do ponto de vista sócio-econômico.

76 Dentro desse contexto Araújo et al. (2007) afirmam tem sido dada ênfase ao estabelecimento
77 de indicadores de qualidade do solo, quando da incorporação de biomassas ao processo
78 produtivo, como instrumento no controle, fiscalização e monitoramento, visando à
79 manutenção e avaliação da qualidade de sistemas agrícolas. Dentre os métodos utilizados, a
80 análise estatística multivariada vem ganhando destaque com ampla importância em estudos de
81 análise exploratória de dados, sendo empregada no agrupamento de amostras segundo sua
82 similaridade, bem como na seleção de variáveis de maior importância na discriminação de
83 grupos pré-selecionados (Benites et al., 2010).

84 Atualmente são conhecidos efeitos isolados de diferentes manejos e uso do solo nos atributos
85 físicos, químicos e biológicos. No entanto, há a necessidade de avaliar esses atributos em
86 conjunto, principalmente em solos do bioma Caatinga.

87 Assim, o uso da análise multivariada permite avaliar um conjunto de atributos e evidenciar
88 resultados independentes, podendo indicar diferença e estabelecer as relações entre os
89 tratamentos e os atributos avaliados sendo, tornando-se um importante instrumento para a
90 tomada de decisão.

91 Desse modo, esse trabalho teve como objetivo identificar indicadores de qualidade do solo a
92 partir de características químicas, físicas e microbiológicas, utilizando técnicas de estatística
93 multivariada.

94

95

96

97 MATERIAL E MÉTODOS

98 Local de estudo

99 O estudo foi realizado no município de Sobradinho, localizado na margem do lago de
 100 Sobradinho, no estado da Bahia. O clima é do tipo BSw^h (clima quente e semiárido) com
 101 chuvas anuais variando de 500 a 900 mm, pela classificação de Köppen, e a vegetação
 102 predominante é a caatinga hiperxerófila. O entorno do lago caracteriza-se pela intensa
 103 atividade agropecuária com destaque para a agricultura irrigada com o cultivo de oleráceas,
 104 principalmente a cebola, e fruticultura irrigada com destaque na produção de banana, uva e
 105 manga. Na pecuária destacam-se a criação de caprinos, ovinos, gados de corte e de leite. Para
 106 o trabalho, foram selecionadas 4 propriedades rurais em uso agrícola, levando-se em
 107 consideração a intensidade e o tempo de uso a localização na margem do lago e a presença de
 108 caatinga nativa em área adjacente com a mesma classe de solo (Tabela 1).

109

110 **Tabela 1.** Localização das propriedades rurais selecionadas, com suas respectivas classes de
 111 solos e uso agrícola.

	Longitude	Latitude	Classe de solo	Uso Agrícola
P1	293995	8953545	Cambissolo Háplico Ta distrófico léptico (CXVD)	cebola, manga e melão
P2	296224	8949582	Argissolo Amarelo distrófico plíntico (PAD)	banana
P3	296899	8948683	Argissolo Amarelo distrófico plíntico (PAD)	melancia
P4	292616	8955249	Luvissolo Crômico órtico vértico (TCO)	melancia

112 P1 – Propriedade 1; P2 – Propriedade 2; P3 – Propriedade 3 e P4 – Propriedade 4.

113

114 Coleta de amostras de solo

115 As amostras deformadas e indeformadas de solos foram coletadas nas profundidades de 0-10,
 116 10-20 e 20-40 cm. Para coleta das amostras deformadas, dividiu-se a área agrícola de cada
 117 propriedade em três subáreas de amostragem, sendo coletadas 10 amostras simples para
 118 constituir uma amostra composta, perfazendo 3 amostras compostas por profundidade e
 119 subárea. Para coleta das amostras indeformadas e nas áreas de caatinga foram abertas
 120 trincheiras em cada subárea.

121

122 Análises Físicas do Solo

123 As análises físicas, realizadas de acordo com Donagema et al (2011), incluíram: análise
 124 granulométrica, com fracionamento da areia nas classes muito grossa, grossa, média, fina e
 125 muito fina, seguindo a classificação granulométrica do Departamento de Agricultura dos

126 Estados Unidos (USDA); Argila dispersa em água (ADA); Densidade das partículas (Dp);
127 Densidade do solo (Ds) pelo método da proveta; e, cálculos de Grau de flocculação (GF) e de
128 Porosidade total (PT). A Macroporosidade (Ma) e a Microporosidade (Mi) foram estimadas
129 através do modelo matemático proposto por Stolf et al. (2011) que tem como base as
130 seguintes equações: $Ma = 0,650 - 1,341 * Ds / Dp + 0,321 * \text{Areia}$; $Mi = 0,350 + 0,341 * Ds /$
131 $Dp - 0,321 * \text{Areia}$.

132 A determinação da porcentagem de agregados estáveis em água, por classes de diâmetro, foi
133 realizada submetendo-se as amostras de solo ao peneiramento úmido utilizando o aparelho de
134 oscilação vertical (Yoder, 1936), através de peneiramento em água.

135

136 **Análises Químicas dos Solos**

137 As análises químicas, realizadas de acordo com Donagema et al (2011), incluíram: pH em
138 água; Fósforo assimilável; cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+); Alumínio trocável;
139 Acidez potencial (H+Al) extraída com acetato de cálcio tamponado a pH 7,0; Carbono
140 orgânico e Condutividade elétrica.

141

142 **Análises microbiológicas dos solos**

143 Foram determinados o teor de C-CO₂ e a atividade microbiana (Jenkinson e Powlson, 1976) e
144 calculado o quociente metabólico (qCO₂) do solo ($qCO_2 = C-CO_2 / C-BMS$) (Depolli e
145 Pimentel, 2005). O carbono da biomassa microbiana (C-BMS) e o nitrogênio da biomassa
146 microbiana (N-BMS) foram determinados pelo método da fumigação-extração (Vance et al.,
147 1987) descrito em Silva et al., (2007). Foram calculados a relação C/N e o quociente
148 microbiano ($qMIC = C-BMS / COT$).

149

150 **Análise estatística**

151 A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) ($p \leq 0,05$).
152 Em seguida, os dados foram submetidos à análise multivariada por meio da análise de
153 componentes principais (ACP) e de agrupamento (AA) a partir da matriz de correlação de
154 Pearson utilizando-se dois diferentes conjuntos de variáveis, envolvendo atributos físicos,
155 químicos e microbiológicos, nas camadas de 0-10 e 10-20 e 20-40 cm, isoladamente e em
156 conjunto. A ACP teve como objetivo verificar quais atributos podem ser utilizados para
157 diferenciar e/ou indicar similaridades entre as amostras de solo.

158 A AA teve como objetivo verificar a similaridade ou diferença de amostras de solos das áreas
 159 avaliadas, sendo utilizada a distância euclidiana e aplicados o método hierárquico de Ward
 160 (Rao, 1952). A retirada de variáveis foi baseada na matriz de correlação de Pearson e, as
 161 variáveis com menores desvios padrão e, com correlação alta entre si, foram retiradas para
 162 evitar multicolinearidade. Para a análise dos dados utilizou-se o software Statistica®, versão
 163 7.0.

164

165 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

166 Os resultados analíticos dos atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo foram
 167 submetidos à ACP, separadamente por profundidade de coleta (0-10; 10-20 e 20-40 cm) e, em
 168 conjunto.

169 A matriz primária foi composta por 43 variáveis considerando os atributos físicos, químicos e
 170 microbiológicos do solo. Após a análise de correlação e, a identificação dos menores desvios
 171 padrão, foram selecionadas 20 variáveis que apresentaram importância na explicação da
 172 variância total dos dados, sendo retirados os atributos microbiológicos. Desse modo, restando
 173 8 variáveis relacionadas aos atributos físicos e 12 aos atributos químicos (Tabela 2).

174

175 **Tabela 2.** Média e Desvio Padrão dos atributos físicos e químicos nas camadas de 0-0,10, 0-
 176 20 e 20-40 cm de profundidade para as áreas de caatinga e em uso agrícola.

Variáveis	Média	DP*
ARGILA	110,12	63,08
AREIA	813,93	72,15
ADA	20,91	11,02
EA 2	1,02	1,57
EA 1	0,67	0,85
EA 0,50	0,54	1,02
EA 0,25	1,05	1,47
EA 0,125	1,20	1,38
MO	8,83	6,08
P	30,73	67,56
K	0,44	0,43
Ca	3,51	3,96
Cu	1,16	1,77
Mn	51,02	88,54
Zn	5,07	14,65
Mg	1,23	1,23
SB	5,58	5,71
CTC	7,92	5,50

CTCef 5,76 6,00

*DP – Desvio Padrão

177
178

179 A matriz de cargas fatoriais obtidas por meio da ACP a partir dos dados das características
180 físicas e químicas do solo está representada na Tabela 3. As primeiras colunas referem-se às
181 cargas fatoriais para cada atributo em cada fator e, a última coluna fornece o valor das
182 comunalidades, indicando o quanto da variância de cada atributo é explicada pelos fatores
183 juntos.

184

185 **Tabela 3:** Cargas fatoriais obtidas por meio da ACP dos atributos físicos, químicos nas
186 profundidades 0–0, 10–20 e 20–40 cm para as áreas de caatinga e em uso agrícola.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
ARGILA (g kg⁻¹)	0,796	-0,370	0,021	0,634
AREIA (g kg⁻¹)	-0,903	0,038	-0,260	0,816
ADA (g kg⁻¹)	0,778	-0,250	0,311	0,605
EA 2 (mm)	0,622	-0,048	-0,524	0,664
EA 1 (mm)	0,825	-0,006	-0,473	0,681
EA 0,50 (mm)	0,704	0,003	-0,398	0,653
EA 0,25 (mm)	0,832	0,016	-0,229	0,692
EA 0,125 (mm)	0,889	0,082	0,112	0,791
MO (g kg⁻¹)	0,887	0,032	0,004	0,787
P (cmolc/dm³)	0,484	0,105	0,754	0,814
K (cmolc/dm³)	0,745	0,071	0,320	0,555
Ca (cmolc/dm³)	0,953	0,184	-0,023	0,909
Cu (cmolc/dm³)	0,161	-0,842	0,016	0,735
Mn (cmolc/dm³)	-0,014	-0,930	-0,078	0,865
Zn (cmolc/dm³)	0,096	-0,778	-0,046	0,614
Mg (cmolc/dm³)	0,887	0,139	-0,141	0,786
SB (cmolc/dm³)	0,958	0,140	-0,057	0,918
CTC (cmolc/dm³)	0,967	0,101	-0,001	0,936
Autovalor (λi)	10,884	4,007	1,655	
Variância (%)	51,829	19,080	7,881	
Variância acumulada (%)	51,83	70,91	78,79	

187
188
189
190

ADA - argila dispersa em água, EA - agregados retidos nas peneiras: 2 mm, 1 mm, 0,50 mm, 0,25 mm, 0,125 mm, MO - matéria orgânica, P- fósforo, K - potássio, Ca - cálcio; Cu- Cobre; Mn-manganês, Zn- zinco, Mg - magnésio, SB - soma de bases, CTC - capacidade de troca catiônica.

*Valores em negrito são significativos dentro de cada fator (>0,65).

191

192 Os autovalores indicam a importância relativa de cada fator na explicação da variância
193 associada ao conjunto de atributos analisados extraindo os fatores na ordem de sua
194 importância. Cargas fatoriais significativas e com sinais opostos indicam variação conjunta,
195 porém em direção oposta.

196 A partir de todos os atributos e profundidades estudados, na ACP, a interpretação dos
197 resultados foi feita considerando a variabilidade contida nos três primeiros fatores,
198 simbolizadas por fator 1, fator 2 e fator 3. Desse modo, foram consideradas somente as
199 variáveis com autovalor acima de 1, por serem essas capazes de gerar componentes com
200 quantidade relevante de informação das variáveis originais. Esses componentes de forma
201 acumulada explicaram 78,79% da variabilidade total dos dados (Tabela 3).

202 O primeiro fator explicou 51,83% da variabilidade total dos dados (Tabela 3). Foi constituído
203 pelas variáveis diretamente ligadas ao arranjo das partículas do solo e, conseqüentemente, à
204 agregação do solo (argila, areia, argila dispersa em água, estabilidade de agregados) e à
205 fertilidade do solo, representada pelos atributos: teor de matéria orgânica, potássio, cálcio,
206 magnésio, valor de soma de bases e de CTC. Esse resultado expressivo, relacionado à
207 fertilidade do solo, pode ser explicado pela introdução de nutrientes no sistema por meio do
208 manejo da fertilidade, utilizando-se adubação química e calagem nas áreas em uso agrícola.
209 Estudo realizado por Santi et al. (2012) concluíram que a ACP dos atributos químicos e
210 físicos do solo é estratégia eficiente para explicar a variabilidade espacial e temporal da
211 produtividade de culturas de grãos, ou seja, para áreas com uso agrícola e aplicação de
212 fertilizantes.

213 Todas as variáveis apresentaram forte correlação positiva, indicando variação conjunta e na
214 mesma direção, mas negativas com a areia, pois solos de textura mais arenosa, além de
215 apresentarem pouca ou nenhuma estrutura, são de baixa fertilidade natural (Spera, 1998). As
216 características físicas do solo interferem diretamente na relação de adsorção e disponibilidade
217 de nutrientes, pois a CTC é mais significativa em solos com maior presença de cargas de
218 superfície, ou seja, com maiores proporções de argila.

219 O segundo fator explicou 19,08% da variabilidade dos dados (Tabela 3). Foi constituído pelas
220 variáveis ligadas aos teores de micronutrientes (cobre, manganês, zinco) e apresentaram
221 correlação forte e negativa entre si.

222 O terceiro fator, explicou somente 7,88% da variabilidade dos dados (Tabela 3). O teor de
223 fósforo disponível foi a única variável significativa.

224 Observa-se, na coluna das comunalidades, que todos os atributos físicos e químicos possuem
225 forte relação com os fatores retidos, pois têm elevadas comunalidades (Tabela 3).

226 Freitas et al., (2014) com objetivo de avaliar, comparativamente, os atributos químicos e
227 físicos do solo em função de diferentes classes texturais, sob cultivo contínuo de cana-de-

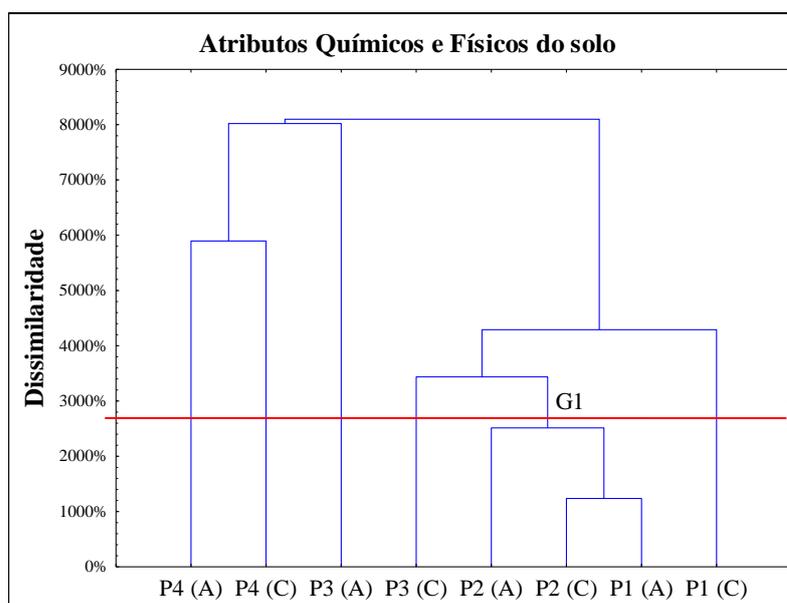
228 açúcar, concluiu que as técnicas de análises multivariadas mostraram que os principais
 229 atributos para distinção dos ambientes são a densidade do solo, a macro e a microporosidade,
 230 o manganês, o cobre e o magnésio. Além disso, que o uso das técnicas de análises
 231 multivariadas foi eficiente para verificar as similaridades ou as diferenças, com base nos
 232 atributos químicos e físicos do solo em cada área estudada.

233 Para a realização da análise de agrupamento hierárquico que, tem como objetivo testar a
 234 hipótese desses atributos do solo e permitirem agrupar manejos agrícolas semelhantes entre as
 235 áreas estudadas, foram utilizadas as variáveis significativas no fator 1 (Argila, areia, ADA,
 236 EA, MO, K, Ca, Mg, SB e CTC) ($r > 0,60$). Obteve-se variação expressiva nos valores de
 237 distância euclidiana entre os acessos para o conjunto de variáveis consideradas, sendo
 238 possível, desse modo, a divisão de grupos de acordo com o tipo de solo (Figura 1).

239

240 **Figura 1.** Análise de Agrupamentos das características dos solos na profundidade de 0-10,
 241 10–20 e 20–40 cm para as áreas de caatinga e em uso agrícola utilizando-se a análise em
 242 conjunto dos atributos físicos e químicos.

243



244

245 P1 (A) – Cambissolo Háplico Ta distrófico léptico em área agrícola, P1 (C) – Cambissolo Háplico Ta distrófico léptico em área de caatinga;
 246 P2 (A) Argissolo Amarelo distrófico plíntico em áreas agrícolas, P2 (C) – Argissolo Amarelo distrófico plíntico em áreas de caatinga; P3 (A)
 247 - Argissolo Amarelo distrófico plíntico em áreas agrícolas com melancia, P3 (A) - Argissolo Amarelo distrófico plíntico em áreas de
 248 caatinga; P4 (A) - Luvissole Crômico órtico vértico em áreas agrícolas, P4 (C) - Luvissole Crômico órtico vértico em áreas de caatinga.
 249

250 As delimitações, com base na análise visual do dendrograma, foram feitas de acordo com os
 251 pontos de alta mudança de nível. Assim, a ocorrência de variação expressiva nos valores de
 252 distância euclidiana entre os acessos para o conjunto de variáveis consideradas, possibilita a
 253 divisão de grupos a partir do corte na altura de, aproximadamente, 25 de dissimilaridade.

254 O objetivo, nesse procedimento de análise, foi verificar se o uso a que o solo foi submetido
255 provocou diferenciação nas suas propriedades químicas e físicas. Observa-se que o uso
256 agrícola (A) não expressou coerentemente a diferenciação entre áreas quanto ao manejo e tipo
257 de cultivo, porém a distinção dos grupos é vista a partir das características peculiares a cada
258 classe de solo (pedogenéticas).

259 Considerando o valor de distância euclidiana em, aproximadamente, 25 para altura de corte do
260 dendograma, foi possível dividir os acessos formando um grupo e as demais propriedades
261 ficaram isoladas, levando-se em consideração a contribuição conjunta das variáveis dos
262 atributos químicos e físicos na profundidade de 0–40 cm (Figura 1). Vale ressaltar que, a
263 formação do grupo é reflexo da similaridade das variáveis, em função da menor distância
264 Euclidiana.

265 Esta divisão mostrou que as propriedades isoladas, da esquerda para direita, é composta pelas
266 propriedades 4 de áreas agrícolas e caatinga, respectivamente, essas áreas são compostas de
267 Luvissole. As P3 (A) e P3 (C) são formados pelas áreas agrícola e caatinga, respectivamente,
268 das propriedades que tem solos classificados como Argissolo Amarelo, o G1 uniu as
269 propriedades 1 e 2, o solo dessas propriedades são classificados como Cambissolo e
270 Argissolo Amarelo, respectivamente, ficando a propriedade 1 de caatinga (P1 C) também
271 isolada.

272 A composição do grupo G1 deve ter ocorrido pela similaridade das características físicas dos
273 solos (P1 A, P2 C e P2 A), embora tenham classificação pedológica distinta (Cambissolo e
274 Argissolo). A P3 A, embora, também, tenha seu solo classificado como Argissolo, não se
275 agrupou com as propriedades que formou o G1. Possivelmente, se deve, ao fato de na P3
276 haver cultivo de melancia e, diferente da P2 (banana), a adubação química é intensificada
277 proporcionando ao solo características químicas distintas.

278 Em estudos realizados anteriormente nestas áreas, foi possível identificar que o Cambissolo
279 apresenta textura arenosa e os Argissolos amarelo apesar de classificado como Argissolo,
280 possui textura muito arenosa em todos os horizontes. Além disso, ainda de acordo com o
281 autor, o Luvissole, também, foi caracterizado como textura arenosa, no entanto, destaca-se
282 pela a elevada proporção de silte, praticamente, ao longo de todo o perfil avaliado (Santos,
283 2015).

284 As áreas avaliadas possuem solos arenosos, esse fator interfere drasticamente na retenção da
285 fertilidade dos solos através da adubação. Sendo assim, construir a fertilidade do solo é a
286 primeira etapa para viabilizar estas áreas para cultivo.

287 O cultivo em solos arenosos implica em elevada demanda tecnológica envolvendo todo o
288 sistema solo-planta, de forma que o manejo desses solos é complexo e a atividade apresenta
289 riscos elevados. Deve-se, inicialmente, atentar-se para algumas técnicas que visam melhorar a
290 retenção de fertilidade a fim de viabilizar a produção em áreas com solos arenosos:
291 construção da fertilidade do solo; rotação de culturas; ajuste físico do solo; manutenção de
292 cobertura vegetal viva pelo maior tempo possível durante o ano; formação de palhada para
293 cobertura do solo; conhecimento claro das condições climáticas locais e uso de sistemas
294 integrados de produção.

295 Embora todas as áreas em uso agrícola sejam trabalhadas no sistema de manejo convencional,
296 há diferenças na quantidade das adubações em função das culturas além, das diferenças
297 pedológicas dos solos, provocando a formação dos diferentes grupos. Na propriedade 4 (P4)
298 com cultivo de melancia e solo classificado como Luvisolo Crômico, há utilização de
299 fertirrigação e adubação mais intensa, além de mecanização com maior revolvimento do solo.
300 As áreas de Cambissolo (P1) e Argissolos (P2 e P3) possuem manejo mais simplificado, nos
301 moldes da agricultura familiar. Na P2 (A) que, também, apresenta Argissolo amarelo, é
302 cultivada banana em manejo convencional, porém, há aplicação de adubação orgânica,
303 influenciado nos teores de MO.

304 Observa-se que quando analisou os atributos em conjunto a AA não foi capaz de separar as
305 áreas de acordo com o uso, ou seja, agrícola e caatinga. Desse modo, foi realizada nova AA
306 com as características físicas e químicas separadamente (Figura 2).

307

308

309

310

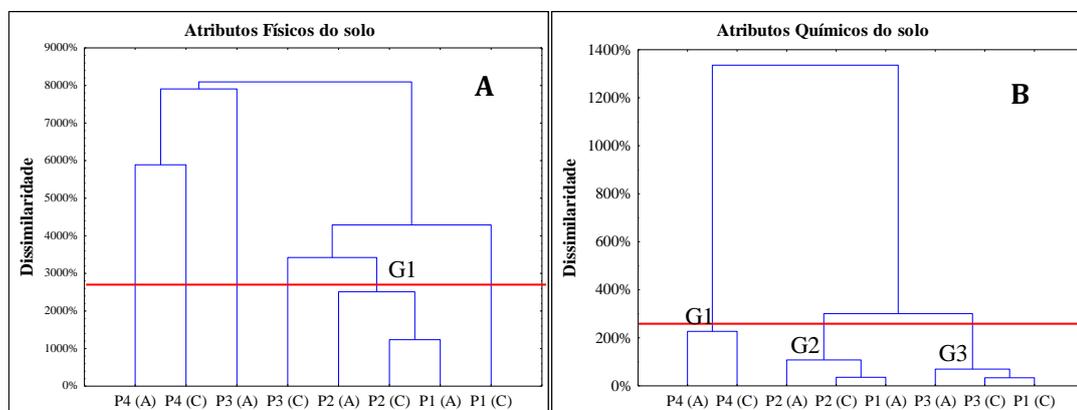
311

312

313

314

315 **Figura 2.** Análise de Agrupamentos das características dos solos na profundidade de 0-10,
 316 10-20 e 20-40 cm em sistemas de produção agrícola e em áreas de caatinga utilizando-se a
 317 análise separada dos atributos físicos (A) e químicos (B) do solo.
 318



319 P1 (A) – Cambissolo Háplico distrófico léptico em áreas agrícolas, P1 (C) – Cambissolo Háplico distrófico léptico em áreas de caatinga; P2
 320 (A) Argissolo Amarelo distrófico plântico em áreas agrícolas, P2 (C) – Argissolo Amarelo distrófico plântico em áreas de caatinga; P3 (A) -
 321 Argissolo Amarelo distrófico plântico em áreas agrícolas com melancia, P3 (A) - Argissolo Amarelo distrófico plântico em áreas de caatinga;
 322 P4 (A) - Luvissole Crômico órtico vértico em áreas agrícolas, P4 (C) - Luvissole Crômico órtico vértico em áreas de caatinga.
 323

324 Observa-se na figura 2A que, quando analisados separadamente, os atributos físicos do solo
 325 repetem o resultado observado na figura 1, indicando que os atributos físicos foram os mais
 326 importantes para o agrupamento das propriedades rurais. Esta informação está de acordo com
 327 a afirmativa de Freitas et al. (2014) de que esta técnica permite agrupar variáveis com
 328 características semelhantes entre si e com aumento de variabilidade entre os agrupamentos
 329 formados.

330 As propriedades rurais foram rearranjadas de forma diferente, quando se utilizaram os
 331 atributos químicos do solo. Há a formação de 3 grupos (G1, G2 e G3). G1 sendo composto
 332 pelas áreas agrícola e de caatinga localizadas na propriedade 4, ambas com Luvissole. No G2
 333 agruparam-se as áreas agrícola e de caatinga da propriedade 2 e a área agrícola da propriedade
 334 1. Nesse grupo, as características químicas da P2, com Argissolo Amarelo, se assemelham às
 335 características do Cambissolo (P1). Deve-se salientar que na área agrícola do Argissolo
 336 Amarelo o cultivo é realizado nos moldes da agricultura familiar, com baixo aporte de
 337 insumos. Além disso, a fertilidade natural é baixa, podendo ser associada à granulometria
 338 arenosa nas primeiras camadas do solo. Já a área agrícola no Cambissolo encontra-se m
 339 processo de degradação, com presença de erosão laminar superficial o que proporcionou
 340 redução de sua fertilidade natural.

341 Em trabalho realizado por Chaer; Tótola (2007) para avaliar a influência das características
 342 físicas, químicas e microbiológicas, adotadas como indicadoras de qualidade do solo, em área

343 com eucalipto submetido a diferentes manejos, os autores verificaram que a área com
344 vegetação natural, usada como referência de qualidade do solo, foi a que apresentou a maior
345 distância gráfica das demais áreas, demonstrando que a introdução da monocultura alterou
346 significativamente a qualidade do solo.

347 O G3 agrupou as áreas de caatinga e agrícola da P3, essas áreas possuem solos classificados
348 como Argissolos cultivados com melancia, fazendo uso de adubação e, a área de caatinga da
349 propriedade 1. Nesse caso, o sistema de cultivo com melancia utilizado no Argissolo (P3)
350 permitiu uma leve elevação da sua fertilidade natural, assemelhando-se ao Cambissolo e com
351 Caatinga.

352 Mota et al. (2015) não observaram diferença significativa entre os atributos avaliados através
353 da estatística univariada nas situações de uso e manejo do solo. Porém, o uso da análise de
354 agrupamento foi eficiente para os autores observar a distinção das situações de solo em três
355 grupos a partir das variáveis analisadas. Corrêa et al., (2010) com o objetivo de avaliar os
356 atributos físicos dos solos de um perímetro irrigado no semiárido do Nordeste do Brasil e
357 comparar diferentes usos do solo, concluiu que o uso agrícola promoveu alterações nos
358 atributos físicos dos solos em relação ao solo sob vegetação nativa.

359

360 **CONCLUSÕES**

361 As áreas estudadas apresentaram cargas fatoriais semelhantes, diferindo a ordem de
362 importância, sendo a disponibilidade de nutrientes, a granulometria e a agregação do solo a
363 compor o primeiro fator da análise de componentes principais.

364 As técnicas de análise multivariada não permitiram distinguir as áreas de acordo com os
365 diferentes tipos de solos, provavelmente devido a homogeneidade dos solos em relação à sua
366 granulometria e à baixa fertilidade natural e ao manejo pouco efetivo das áreas.

367 Os atributos físicos foram os mais importantes para o agrupamento das propriedades rurais.

368 As variáveis mais sensíveis, que auxiliaram na análise de agrupamentos separando as áreas de
369 acordo com as características dos solos, foram matéria orgânica, potássio, cálcio, magnésio e
370 soma de bases.

371

372 **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

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

- 375 BENITES, V.M.; MOUTTA, R.O.; COUTINHO, H.L.C.; BALIEIRO, F.C. Análise
376 discriminante de solos sob diferentes usos em área de mata atlântica a partir de atributos da
377 matéria orgânica. **Revista Árvore**, 2010.
- 378 CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. DE; REIS, EDÉSIO FIALHO DOS; PEREIRA, H. S.;
379 AZEVEDO, W. R. DE. Atributos físicos, químicos e biológicos de Solo de cerrado sob
380 diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2009.
- 381 CHAER, G. e M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a
382 reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira
383 de Ciência do Solo**, 2007.
- 384 CORRÊA, R. M.; FREIRE, M. B. G. dos S.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A. da;
385 PESSOA, L. G. M.; MIRANDA, M. A.; MELO, D. V. M. de. Atributos físicos de solos sob
386 diferentes usos com irrigação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de
387 Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2010.
- 388 CUNHA, E. DE Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. DE B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA,
389 J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados
390 por sistemas de cultivo. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, 2012.
- 391 DEPOLLI, H.; PIMENTEL, M. S. Indicadores de qualidade do solo. In: AQUINO, A.M.;
392 ASSIS, R.L. (Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta**: ferramentas para uma
393 agricultura sustentável. Brasília: Embrapa-SCT, 2005.
- 394 DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.;
395 VIANA, J. H. M. (Org.). Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. **Rev. Rio de Janeiro:
396 Embrapa Solos**, 2011.
- 397 FREITAS, L. DE; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A. de; CAMPOS, M. C. C. Análise
398 multivariada na avaliação de atributos de solos com diferentes texturas cultivados com cana-
399 de-açúcar. **Rev. Cienc. Agrar**, 2014.
- 400 GAMA-RODRIGUES, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS,
401 G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica: Ecossistemas tropicais e
402 subtropicais. Porto Alegre, **Gênesis**, 1999.
- 403 JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in
404 soil. A method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, 1976.
- 405 KIEHL, E. J. Manual de edafologia. São Paulo, **Agronômica Ceres**, 1979.

- 406 MARCHESAN, E. *et al.* Arroz tolerante a imidazolinonas: banco de sementes de arroz-
407 vermelho e fluxo gênico. **Planta Daninha**, 2011.
- 408 MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. Avaliação
409 da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de minas
410 gerais. **R. Bras. Ci. Solo**, 2008.
- 411 MOTA, J. C. A.; ALENCAR, T. L. de; ASSIS JÚNIOR, R. N. de. Alterações físicas de um
412 cambissolo cultivado com bananeira irrigada na chapada do Apodi, Ceará. **Rev. Bras. Ciênc.**
413 **Solo**, 2015.
- 414 MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. DE. Qualidade física de um
415 cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 2013.
- 416 PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M. Propriedades físicas e químicas do
417 solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. **Rev. Bras.**
418 **Ciênc. Solo**, 2010.
- 419 RAO, R. C. Advanced statistical methods in biometric research. New York, **John Wiley &**
420 **Sons**, 1952.
- 421 REICHARDT, R.; TIMM, L. C. **Solo Planta Atmosfera: conceitos, processos e aplicações.**
422 Barueri: Manole, 2012.
- 423 REINERT, D. J.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; SUZUKI, L.E.A.S. Qualidade física dos
424 solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA
425 ÁGUA. **Anais...** Aracaju: SBCS, 2006.
- 426 REINERT. D. J. & REICHERT, J. M. Propriedades físicas do solo, p.8, **Santa Maria-RS,**
427 2006.
- 428 SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; MARTIN, T. N.; PIRES, J. L.;
429 FLORA, L. P. D.; BASSO, C. J. Análise de componentes principais de atributos químicos e
430 físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, 2012.
- 431 SANTOS, N. G. N. **Diâmetro das frações granulométricas e o comportamento físico-**
432 **hídrico de solos do semiárido nordestino.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) -
433 Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro-BA, 2015.
- 434 SILVA, E. M.; AZEVEDO, J. A. Influência do período de centrifugação na curva de retenção
435 de água em solos de Cerrado. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, 2002.

- 436 SILVA, E. M.; LIMA, J. E. F. W.; AZEVEDO, J. A.; RODRIGUES, L. N. Valores de tensão
437 na determinação da curva de retenção de água de solos do Cerrado. **Pesq. Agropec. Bras.**,
438 Brasília, 2006.
- 439 SILVA, M. B. da; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M. da; LANNA, A. C. Atributos
440 biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesq.**
441 **Agropecuária brasileira**, Brasília, 2007.
- 442 SPERA, S. T.; REATI, A.; CORREIA, J. R.; CUNHA, T. J. F. Solos arenosos no Brasil:
443 problemas, riscos e opções de uso. **Revista de Política Agrícola**, 1998.
- 444 STOLF, R. **Penetrômetro de Impacto Stolf- programa de manipulação de dados em**
445 **Excel-VBA**. UFSCar, 2011. Disponível em:
446 <<http://www.cca.ufscar.br/drnpa/hprubismar.htm>>, item 100. Acesso em: 16 nov/02/. de
447 2016.
- 448 VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring
449 soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, 1987.
- 450 YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical
451 nature of erosion losses. **J. Am. Soc. Agr.** 1936.
- 452 ZALAMENA, J. Impacto do solo da terra nos atributos químicos e físicos de solos do rebordo
453 do planalto – RS. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

7. CONCLUSÃO GERAL

Nas áreas de estudo, a análise por componentes principais (ACP) foi eficiente para selecionar quais as variáveis melhor se ajustam para o uso como indicadores de qualidade do solo, dando suporte à análise de agrupamento, verificando as similaridades ou as diferenças, com base nos atributos químicos, físicos e microbiológicos, de amostras de solos de diferentes usos (sistemas de produção). A análise de correlação canônica, também, mostrou-se importantes no estudo da seleção de indicadores de qualidade do solo quando se utilizou os atributos físicos e químicos do solo.

Para os atributos físicos, os indicadores que mais se destacaram foram as variáveis que são associados à granulometria do solo, os parâmetros de agregação do solo. Quanto ao atributo microbiológico as variáveis foram o CBMS, NBms, RB, QMic e qCO₂.

Do ponto de vista de qualidade química, as variáveis que responderam melhor ao estímulo das ações antrópicas foram as variáveis ligadas a fertilidade do solo, K, P, Na, Ca, Mg e CTC, CE e SB e MO, também, as que se relacionam diretamente ao carbono, como por exemplo, COT e as frações oxidáveis: COX-F1 e COX-F4, bem como a MO e Ntot.

APÊNDICE

ARTIGO 1

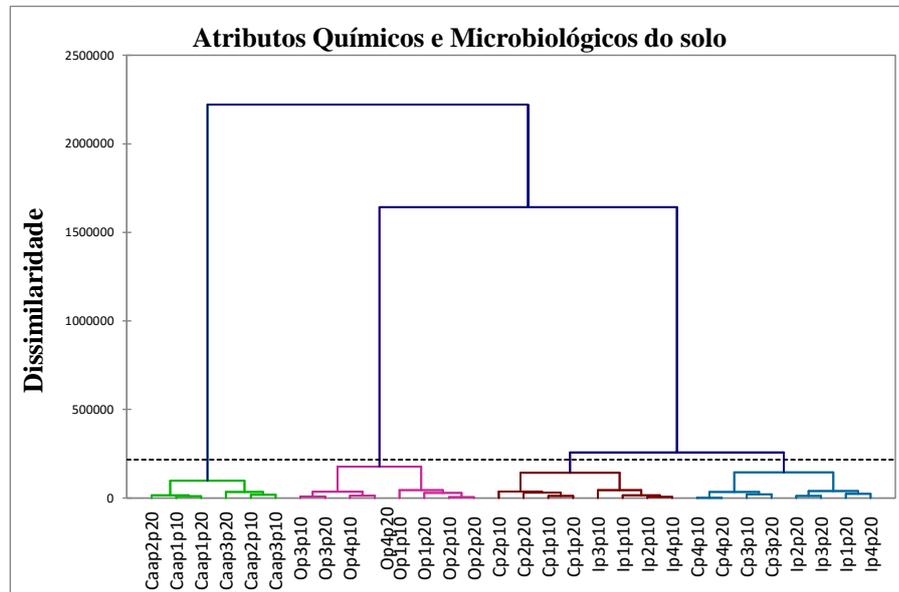
Tabela 1. Cargas fatoriais baseadas na análise de componentes principais dos atributos químicos e microbiológicos do solo na profundidade de 0 - 10 e 10 -20 cm.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	Comunalidade
CBMS	0,83	-0,07	0,16	-0,39	0,21	0,16	0,94
CN-BMS	0,60	-0,27	0,09	-0,55	-0,07	-0,03	0,76
RB	0,87	0,15	-0,23	0,07	0,01	0,13	0,85
qMic	0,24	-0,29	-0,03	-0,71	0,30	-0,40	0,89
qCO ₃	0,77	0,09	-0,21	0,47	-0,04	-0,06	0,87
Ntotal	0,31	-0,57	0,56	0,15	0,10	0,23	0,82
COT	0,80	0,14	0,05	0,04	-0,08	0,54	0,97
C:N	-0,36	0,46	-0,51	-0,11	0,03	0,36	0,75
C:P	0,42	0,37	0,42	-0,10	-0,58	0,03	0,84
CSol H ₂ O	-0,01	-0,74	-0,22	-0,11	-0,40	0,16	0,80
CSOL KCl	0,82	0,42	0,25	0,12	0,13	0,04	0,94
Cox-F1	0,41	-0,69	-0,05	0,36	0,03	0,03	0,78
Cox-F4	0,97	0,13	0,02	0,03	0,03	0,09	0,98
Cox-F5	-0,73	0,25	0,01	-0,15	-0,19	0,52	0,92
NOrg	0,04	-0,30	0,74	0,37	0,19	-0,05	0,81
N-NO ₃	0,12	-0,43	-0,51	-0,23	-0,04	0,39	0,67
N-NH ₄	-0,11	0,48	0,46	-0,11	-0,06	0,21	0,52
P	-0,25	-0,83	0,01	0,00	-0,14	0,09	0,79
K	-0,22	-0,89	0,12	0,11	-0,17	0,06	0,90
Mg	-0,07	-0,28	0,56	-0,17	0,52	0,26	0,77
Fe	-0,38	0,71	0,53	-0,06	0,02	-0,03	0,94
CE	-0,21	-0,81	0,22	-0,05	-0,33	-0,13	0,88
Na	-0,20	-0,17	-0,67	0,22	0,59	0,09	0,92
HAL	-0,77	0,45	0,11	0,07	-0,06	0,04	0,83
CTC	-0,64	-0,41	0,37	-0,03	0,33	0,29	0,91
Autovalor	7,21	5,80	3,28	1,71	1,65	1,38	
Variabilidade (%)	28,84	23,20	13,11	6,84	6,58	5,52	
% acumulada	28,84	52,04	65,15	71,99	78,57	84,10	

CBM (mg.kg⁻¹ solo) – carbono da biomassa microbiana; CN-BM – relação carbono/nitrogênio da biomassa microbiana; RB (g CO₂.kg⁻¹ solo/dia) – respiração basal; qMic (mg.g⁻¹ COT) – quociente microbiano; qCO₂ (μg CO₂.g⁻¹ C-BMS/ dia) – quociente metabólico; Ntot (mg.kg⁻¹) – nitrogênio total, COT (g.kg⁻¹) – Carbono orgânico total, C:N – relação carbono:nitrogênio, C:P, – relação carbono:fósforo; C-H₂O carbono solúvel em água C-K₂SO₄ – carbono solúvel em sulfato de potássio, C-F1 (g.kg⁻¹) – fração oxidável 1, C-F3 (g.kg⁻¹) – Fração oxidável 3, C-F4 (g.kg⁻¹) – Fração oxidável 4; NOrg (mg.kg⁻¹) – nitrogênio orgânico; NO₃⁻ (mg.kg⁻¹), – Nitrate NH₄⁺ – Amônio (mg.kg⁻¹); P (cmol_c.dm⁻³) – fósforo; K (cmol_c.dm⁻³) – potássio; Mg (cmol_c.dm⁻³) – magnésio; Fe (mg.dm⁻³) – ferro; CE (dS.m⁻¹) – condutividade elétrica; Na (cmol_c.dm⁻³) sódio; H+Al – acidez potencial, CTC (cmol_c.dm⁻³) – capacidade de troca catiônica.

* Valores em negrito correspondem para cada variável ao fator para o qual o coseno quadrado é o maior.

Figura 1. Análise de Agrupamentos das propriedades rurais que utilizam sistemas de produção Convencional, Integrado e Orgânico e das áreas de referência sob Caatinga utilizando-se a análise em conjunto dos atributos químicos e microbiológicos de amostras de solo coletadas na profundidade de 0-10 e 10-20 cm.



O – Orgânico; I – Integrado; C – Convencional; Caa – Caatinga; P1- propriedade 1; P2- propriedade 2; P3- propriedade 3; P4- propriedade 4; P10 – profundidade 10 cm.

ARTIGO 2

Tabela 1. Matriz de correlação dos atributos químicos e microbiológicos do solo com diferentes usos em profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

Variáveis	CBMS	CN-BMS	RB	qMic	qCO2	Ntotal	COT	C:N	Cox-F1	Cox-F4	N-NO3	N-NH4	NOrg	CE	P	Na	CTC	V
CBMS	1																	
CN-BMS	0,507	1																
RB	0,537	0,267	1															
qMic	0,501	0,312	0,068	1														
qCO2	0,060	-0,015	0,721	-0,226	1													
Ntotal	0,267	0,149	0,070	0,044	-0,001	1												
COT	0,428	0,154	0,485	-0,430	0,355	0,214	1											
C:N	-0,159	-0,137	-0,101	-0,383	-0,128	-0,386	0,238	1										
Cox-F1	0,290	0,176	0,262	0,034	0,247	0,373	0,207	-0,060	1									
Cox-F4	-0,257	-0,198	-0,377	-0,546	-0,350	-0,134	0,416	0,506	-0,278	1								
N-NO3	0,069	0,037	0,068	-0,145	0,049	0,083	0,347	0,137	0,153	0,288	1							
N-NH4	-0,090	-0,043	-0,055	-0,241	-0,050	0,012	0,132	0,088	-0,269	0,258	-0,134	1						
NOrg	0,095	0,172	-0,085	0,097	-0,092	0,704	-0,054	-0,310	0,158	-0,171	-0,348	0,068	1					
CE	-0,035	0,115	-0,210	0,103	-0,203	0,401	-0,160	-0,177	0,449	-0,070	0,163	-0,172	0,227	1				
P	0,033	0,065	-0,176	0,038	-0,198	0,381	-0,045	-0,081	0,415	0,049	0,247	-0,229	0,104	0,652	1			
Na	-0,186	-0,124	-0,036	0,051	0,099	-0,053	-0,159	0,122	0,120	-0,082	0,166	-0,324	-0,029	-0,151	0,086	1		
CTC	-0,173	-0,114	-0,472	-0,012	-0,450	0,264	-0,223	0,003	0,134	0,218	0,024	0,145	0,214	0,395	0,411	0,115	1	
V	0,376	0,252	0,264	0,150	0,153	0,313	0,213	-0,230	0,478	-0,256	0,248	-0,239	0,069	0,337	0,332	0,153	0,325	1

Tabela 2. Valores de Média, desvio padrão, mínimo e máximo dos atributos químicos e físicos dos solos em diferentes usos nas profundidades de 0-10 cm (variáveis removidas na seleção para realização da análise de correlação canônica).

	orgânico				Convencional				Integrado				Caatinga			
	Média	DP	Mínimo	Máximo	Média	DP	Mínimo	Máximo	Média	DP	Mínimo	Máximo	Média	DP	Mínimo	Máximo
0 - 10 cm																
N-BMS	37,8	8,0	29,3	44,8	19,6	8,1	9,0	27,5	25,9	3,1	22,6	29,0	21,3	2,9	17,9	23,2
C:P	296,8	128,4	166,7	457,5	15,9	5,6	11,2	24,0	131,5	43,5	76,2	181,9	222,4	127,5	99,6	354,2
N:P	10,9	3,9	6,6	15,3	13,0	5,3	7,1	20,0	8,9	1,7	7,3	10,5	173,4	81,7	87,4	249,9
CSol H2O	49,1	6,9	40,1	54,5	52,7	13,3	33,3	62,5	75,2	10,9	62,2	88,7	38,9	9,2	28,2	44,6
CSOL KCl	558,9	47,2	508,4	614,1	131,0	58,7	71,2	201,9	82,2	35,7	53,5	134,0	222,4	127,5	99,6	354,2
C-F2	2,6	0,1	2,5	2,8	0,6	0,2	0,3	0,8	0,6	0,1	0,5	0,7	0,2	0,2	0,1	0,4
C-F3	5,0	0,2	4,8	5,2	0,6	0,2	0,4	0,8	0,8	0,4	0,5	1,5	0,3	0,1	0,2	0,4
Nmin	125,9	57,8	71,7	201,5	192,8	99,0	88,7	284,6	163,7	46,0	95,6	195,4	64,6	13,6	49,4	75,4
pH	6,9	0,5	6,2	7,3	7,5	0,5	6,9	8,0	7,4	0,2	7,2	7,6	5,4	0,1	5,3	5,6
K	0,3	0,1	0,3	0,4	0,5	0,1	0,3	0,6	0,8	0,2	0,7	1,0	0,3	0,0	0,2	0,3
Ca	2,2	1,2	1,3	3,9	4,3	1,7	2,1	5,9	4,9	0,4	4,5	5,3	3,2	1,8	1,9	5,3
Mg	1,2	0,5	0,8	1,9	1,3	0,6	0,8	1,8	1,6	0,3	1,2	1,9	1,5	0,9	0,9	2,5
Al	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,3
HAL	0,6	0,2	0,4	0,9	1,4	0,2	1,2	1,5	1,3	0,3	1,1	1,6	2,9	0,9	2,2	4,0
S	3,8	1,9	2,4	6,4	6,3	2,3	3,4	8,5	7,3	0,5	6,8	7,9	5,0	2,6	3,4	8,0

CBM (mg.kg⁻¹ solo) – carbono da biomassa microbiana; CN-BM – relação carbono/nitrogênio da biomassa microbiana; RB (g CO₂.kg⁻¹ solo/ dia) – respiração basal; qMic (mg.g⁻¹ COT) – quociente microbiano; qCO₂ (□g CO₂.g⁻¹ C-BMS/ dia) – quociente metabólico; Ntot (mg.kg⁻¹) – nitrogênio total, COT (g.kg⁻¹) – Carbono orgânico total, C:N – relação carbono:nitrogênio; C-F1 (g.kg⁻¹) – fração oxidável 1, C-F4(g.kg⁻¹) – Fração oxidável 4; NOrg (mg. kg⁻¹) – nitrogênio orgânico; N-NO₃⁻ (mg.kg⁻¹), – Nitrato N-NH₄⁺ – Amônio (mg.kg⁻¹); , P (mg.dm⁻³) – fósforo;CE (dS.m⁻¹) – condutividade elétrica; Na (cmol.dm⁻³) sódio; CTC (cmol.dm⁻³) – capacidade de troca catiônica.; V (%).

Tabela 3. Valores de Média, desvio padrão, mínimo e máximo dos atributos químicos e físicos dos solos em diferentes usos nas profundidades de 10-20 cm (variáveis removidas na seleção para realização da análise de correlação canônica).

	orgânico				Convencional				Integrado				Caatinga			
	Média	DP	Mínimo	Máximo	Média	DP	Mínimo	Máximo	Média	DP	Mínimo	Máximo	Média	DP	Mínimo	Máximo
0-20cm																
N-BMS	40,0	6,3	33,6	47,7	22,5	5,4	17,4	29,3	21,0	3,3	16,1	23,3	21,4	10,9	13,1	33,8
C:P	303,2	107,1	188,0	445,4	36,8	16,5	20,6	59,3	254,8	87,5	152,5	356,6	319,2	68,3	242,0	371,7
N:P	11,6	3,2	7,7	15,2	23,5	9,2	9,9	30,4	11,9	3,4	8,7	16,7	235,6	48,2	182,6	276,7
CSol H2O	51,0	7,9	41,9	59,2	57,6	6,7	50,3	66,6	71,8	9,4	59,9	81,4	28,3	6,7	21,4	34,8
CSOL KCl	520,9	36,8	477,4	567,5	113,2	75,9	44,4	193,6	59,8	10,5	48,8	71,9	319,2	68,3	242,0	371,7
Cox-F2	2,5	0,4	1,8	2,7	0,6	0,4	0,0	0,8	0,5	0,2	0,3	0,7	0,1	0,0	0,1	0,1
Cox-F3	5,2	0,2	4,9	5,5	0,9	0,6	0,5	1,8	0,6	0,1	0,5	0,7	0,5	0,3	0,2	0,8
Nmin	166,9	44,9	111,1	220,1	168,3	109,9	39,3	304,7	160,2	78,9	71,4	238,7	31,8	5,4	26,1	36,8
pH	6,8	0,5	6,1	7,1	7,4	0,6	6,7	8,0	7,4	0,1	7,3	7,5	5,0	0,0	5,0	5,1
K	0,3	0,0	0,3	0,3	0,3	0,1	0,3	0,4	0,6	0,1	0,5	0,7	0,2	0,0	0,2	0,2
Ca	2,1	0,6	1,5	2,6	2,8	0,6	1,9	3,2	3,7	0,4	3,3	4,2	2,6	1,9	1,1	4,8
Mg	1,4	0,4	0,9	1,9	1,0	0,2	0,8	1,2	1,3	0,4	0,8	1,6	1,3	1,2	0,4	2,7
Al	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	0,3	0,5
HAL	0,5	0,1	0,3	0,6	1,7	0,4	1,3	2,1	1,2	0,2	1,0	1,4	2,2	0,3	2,0	2,5
S	3,8	1,0	2,7	4,8	4,3	0,8	3,2	5,0	5,6	0,6	4,8	6,1	4,2	3,1	1,7	7,7

CBM (mg.kg⁻¹ solo) – carbono da biomassa microbiana; CN-BM – relação carbono/nitrogênio da biomassa microbiana; RB (g CO₂.kg⁻¹ solo/ dia)– respiração basal; qMic (mg.g⁻¹ COT) – quociente microbiano; qCO₂ (□g CO₂.g⁻¹ C-BMS/ dia)- quociente metabólico; Ntot (mg.kg⁻¹) – nitrogênio total, COT (g.kg⁻¹)– Carbono orgânico total, C:N – relação carbono:nitrogênio; C-F1 (g.kg⁻¹) – fração oxidável 1, C-F4(g.kg⁻¹)– Fração oxidável 4; NOrg (mg. kg⁻¹) – nitrogênio orgânico; N-NO₃⁻ (mg.kg⁻¹), – Nitrato N-NH₄⁺ – Amônio (mg.kg⁻¹); , P (mg.dm⁻³)- fósforo;CE (dS.m⁻¹) – condutividade elétrica; Na (cmol.dm⁻³) sódio; CTC (cmol.dm⁻³) – capacidade de troca catiônica.; V (%).