

ANÁLISE MICROBIOLÓGICA E AVALIAÇÃO DOS INDICADORES DE QUALIDADE DE SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO: UM ESTUDO DE CASO NO CARIRI CEARENSE

Francisca Dayanne de Oliveira Alcantara<sup>1</sup>, Francisco Gauberto Barros dos Santos<sup>1</sup>, Sami Jorge Michereff<sup>2</sup>, Tamires Coelho Matias Maciel<sup>1</sup>, Manuel Antonio Navarro Vásquez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *campus* Crato

<sup>2</sup> Universidade Federal do Cariri – *campus* Crato

*annealcantara@alu.ufc.br, gauberto@ifce.edu.br, sami.michereff@ufca.edu.br, tamires\_coelho\_matias@hotmail.com, avasquez@ifce.edu.br*

**RESUMO:** A qualidade do solo é dependente de muitas variáveis que ocorrem no solo, sejam de ordem física, química e microbiológica, interdependentes, que merecem atenção. Este trabalho de pesquisa configura-se como um estudo de caso e objetiva analisar a microbiologia de solos de um condomínio de agricultura familiar denominado de 'Dona Bia' em Juazeiro do Norte, Sul do Ceará, em diferentes profundidades e avaliar através de uma metodologia participativa indicadores de qualidade do solo de três áreas com diferentes sistemas de cultivo. As áreas estudadas foram: área 1 – Sistema Agroflorestal (SAF) com dois anos de implantação; área 2 - SAF com um ano e implantação e área 3 - Sistema convencional (SC) com cultivo consorciado de milho e feijão. Foram realizadas análises microbiológicas e foram aplicados questionários para avaliação de qualidade do solo nos três sistemas de uso. A composição da microbiota dos solos estudados revela uma relação direta da qualidade do solo com o tempo de implantação dos Sistemas agroflorestais, principalmente nas camadas superiores. Nas condições em que o estudo foi realizado a avaliação dos indicadores de qualidade de solo pelo método participativo mostram que as áreas de SAFs apresentaram médias superiores às áreas com sistema de SC, o que demonstra o potencial dos sistemas agroflorestais quanto às práticas conservacionistas de manejo do solo e água. A metodologia participativa para avaliação de qualidade do solo mostrou-se adequada, tanto para analisar as diferenças do solo, como para promover a participação dos agricultores, pesquisadores e técnicos na discussão dos resultados.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade. Microbiologia do solo. Manejo sustentável.

**ABSTRACT:** Soil quality is dependent on many variables that occur in the soil, whether physical, chemical and microbiological, interdependent, which deserve attention. This research work is configured as a case study and aims to analyze the soil microbiology of a family farming condominium called 'Dona Bia' in Juazeiro do Norte, Southern Ceará, at different depths and to evaluate through a participatory methodology soil quality indicators from three areas with different cultivation systems. The areas studied were: area 1 - Agroforestry System (SAF) with two years of implementation; area 2 - SAF with one year and implantation and area 3 - Conventional system (SC) with intercropping of corn and beans. Microbiological analyzes were carried out and questionnaires were applied to assess soil quality in the three use systems. The composition of the microbiota of the studied soils reveals a direct relationship between soil quality and the time of implantation of agroforestry systems, mainly in the upper layers. Under the conditions in which the study was carried out, the assessment of soil quality indicators by the participatory method shows that the areas of SAFs had higher averages than the areas with SC system, which demonstrates the potential of agroforestry systems in terms of conservationist practices of soil management. soil and water. The participatory methodology for assessing soil quality proved to be adequate, both to analyze soil differences, and to promote the participation of farmers, researchers and technicians in the discussion of results.

**Keywords:** Sustainability. Soil microbiology. Sustainable management.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, milhares de pessoas no mundo já praticam uma agricultura que, negam o “pacote” químico da produção de alimentos incentivado por indústrias do grande capital; exercem com grande capacidade uma agricultura sustentável, integrada com os processos naturais do planeta; obedecem às leis orgânicas dos sistemas vivos e trabalham o solo em respeito à natureza. As pessoas a cada dia mais estão se importando e visando o desenvolvimento sustentável e sob esse prisma surgem os sistemas agroflorestais (SAFs).

Os SAFs passaram a fazer parte dos programas de desenvolvimento rural sustentável por serem implantados, muitas vezes, em áreas já degradadas, restabelecendo a produção e diminuindo o desmatamento sobre florestas primárias. Os SAFs podem ser definidos como técnicas de uso do solo, que combinam espécies florestais com culturas agrícolas, e em alguns modelos, incrementa-se ainda atividades pecuárias (SILVA, 2013).

Quaisquer distúrbios no solo provocado por diferentes manejos causam mudanças na população microbiana (MATSUOKA *et al.*, 2003). Assim, seria possível monitorar, pelo uso de análises microbiológicas, sistemas de manejo que alteram a qualidade do solo (ROSCOE *et al.*, 2006).

A análise de atributos físicos e químicos torna-se as vezes oneroso demorado para o produtor de base familiar, contudo, Altieri (2002) mostra que o uso de metodologias inclusivas, participativas são relevantes no meio rural, pois utiliza de linguagens do próprio agricultor para compreensão dos processos que acontecem nos agroecossistemas (PINTO, 2017).

O manejo sustentável da irrigação é dependente de muitas variáveis de diversos processos que ocorrem no solo, sejam de ordem física, química, biológica e microbiológica, muitas vezes interdependentes e que merecem atenção.

Com base no exposto, este trabalho configura-se como um estudo de caso e objetiva-se analisar a microbiologia de solos de um condomínio de agricultura familiar denominado de ‘Dona Bia’ em Juazeiro do Norte, Sul do Ceará, em diferentes profundidades; avaliar através de uma metodologia participativa indicadores de qualidade do solo de três áreas com diferentes sistemas de cultivo: SAF com dois anos; SAF com um ano e uma área com cultivo convencional de milho e feijão consorciado e verificar se a metodologia participativa para avaliação de qualidade de solo é adequada para aplicação no campo junto com agricultores, técnicos e pesquisadores.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.2. Sistemas agroflorestais – SAF’S

Um sistema agroflorestal (SAF), constitui em técnicas de produção agrícola e florestal, onde se busca ao máximo aproximar-se da dinâmica e de arranjo de uma floresta natural. Para esse fim, busca combinar uma vasta diversidade de espécies materiais, combinando a espécie a condição de floresta, mas que também possam ser utilizados pelo homem como alimento e outros fins (YANA, WEINGRI, 2001).

Para Ernst Götsch (1995) um dos pioneiros da técnica de sistemas agroflorestais- SAF’S, a definição é bem simples e trata-se de um conjunto de práticas que combinam árvores arbóreas com culturas e/ou pastagens.

Assim sendo, os sistemas agroflorestais são fundamentados na sucessão natural de espécies, na agregação de culturas (consórcios) e no equilíbrio de sistema como um todo (sintropia) onde cada

interferência no sistema deve resultar de forma positiva, tanto no balanço energético como econômico e ainda na quantidade e qualidade das espécies presentes na natureza (VAZ, 2002).

A agricultura convencional com suas diversas técnicas de utilização seja de insumos ou plantio (monocultura) está voltado para processos que modificam ambientes complexos em simples, ou seja, a degradação (entropia); e é exatamente essa simplificação do sistema que proporciona a degradação do ambiente promovendo assim cada vez menos a vida ao ambiente e resulta em um balanço energético negativo (VAZ, 2002; GÖTSCH, 1995).

Logo, os SAFs são reconhecidos por seus impactos positivos, tantos pela conservação da biodiversidade dos agroecossistemas, como também da biodiversidade do solo e da serapilheira, visto que sua estrutura se assemelha a de uma vegetação nativa (BROWN *et al.*, 2009).

### 2.3. Indicadores de Qualidade de Solo

A qualidade de um solo pode ser avaliada através de indicadores de qualidade ou características que expressam modificações nos componentes estruturais e nas funções do solo, podendo assim retratar a sua condição de sustentabilidade (NOGUEIRA e HUNGRIA, 2013).

Para Karlen *et al.* (1997), os indicadores de qualidade são características que podem ser estimadas quantitativamente e qualitativamente, tanto em solo, em planta, em relação aos processos ou atividades e que permitem descrever, estudar e acompanhar modificações sucessivas num determinado ecossistema, ou seja; os indicadores devem ser analisados quanto capacidade de reagir a mudanças e distúrbios provocados pelo uso e manejo do solo.

Saber quando um agroecossistema é saudável é um dos grandes desafios enfrentados tanto pelos extensionista, agricultores como também pelos pesquisadores, pois devido à grande diversidade e dinâmica do compartimento do solo, sua qualidade não pode ser medida de forma direta, porém é capaz de ser estimada por meio de indicadores sugeridos pelo homem, uma vez que esses indicadores compreendem uma ferramenta metodológica que é de mais fácil assimilação pelos produtores e ainda os motiva na resolução dos problemas rurais (CASADO E MIELGO, 2007). As modificações que acontecem nas camadas de solo, tem sido avaliada através de aplicação de métodos de indicadores pertinentes e realizando comparação com valores esperados em diferentes espaços de tempo para um fim específico em ecossistemas distintos (MELO FILHO *et al.*, 2007)

### 2.4. Metodologias de avaliação de sustentabilidade de agroecossistemas

Para Pinto 2017, a pesquisa científica só é satisfatória no momento que há troca de saberes, onde se valoriza o conhecimento do homem do campo. Fundamentado nisso a partir do instante que a pesquisa se torna dialogada e horizontal, o pesquisador transfigura-se apenas como facilitador do processo, e o homem do campo surge como o agente em destaque no contexto da pesquisa.

Deste modo, o uso da metodologia de avaliação de sustentabilidade de agroecossistemas como a proposta por Altieri e Nicholls (2002) surge como uma ferramenta relevante e indispensável no ensino da agroecologia em campo, uma vez que facilita o diálogo entre pesquisador e agricultores em relação as práticas agroecológicas.

Portanto, se verifica que nos ensino-aprendizagem entre pesquisadores e agricultores atende os princípios adotados pela agroecologia, onde se orienta atuação efetiva dos agricultores nesse processo. Corroborando a este pensamento, Machado e Vidal (2006) dizem que:

A metodologia utilizada é a de determinação de indicadores de sustentabilidade de fácil entendimento, relatando a sua aplicação por

agricultores, (...) com o objetivo de caracterizá-la quanto aos aspectos de manejo dos solos e das lavouras, além de capacitar os agricultores em pré-requisitos agroecológicos que devem ser atingidos para garantir a sustentabilidade dos agroecossistemas (MACHADO E VIDAL, 2006, p. 11-12).

## **2.5. População microbiana**

Com o surgimento de técnicas de biologia molecular das quais que têm beneficiado a avaliação dos microrganismos em amostras ambientais, a heterogeneidade dos microrganismos como indicador da qualidade do solo vem sendo bastante debatida, especialmente na última década, (TIEDJE *et al.*, 2001).

Ecologicamente, o solo é formado por domínios funcionais, onde essas atribuições são constituídas por ações de reguladores, tais como: plantas, fauna do solo, condições edafoclimáticas, entre outras. E dentro deles há uma série de atividades que incluem os macro e microrganismos responsáveis pelos diversos processos biológicos, que podem ser particulares ou não a cada domínio, e pelo ordenamento do solo, sendo os agregados, macro e microporos (LAVELLE, 2000).

A atividade metabólica do solo é influenciada fortemente pela presença de raízes e materiais orgânicos em decomposição. Na rizosfera, constata-se uma forte atividade microbiana, isso pela presença de exsudatos e secreções radiculares que representam as maiores fontes de carbono prontamente disponíveis para os microrganismos (ROSADO, 2000).

Dessa forma, observa-se que a diversidade de microrganismos é primordial para o funcionamento do ecossistema, porque é necessário a manutenção de processos ecológicos como a decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, agregação do solo e controle de patógenos dentro do ecossistema (KENNEDY, 1999). Logo, é de extrema importância à procura de métodos de avaliação da abundância e da diversidade de microrganismos no solo e, também de formas de utilização desses dados como indicadores do estado da qualidade do solo.

## **3. METODOLOGIA**

### **3.1. Localização da área experimental**

A área objeto da pesquisa foi o Condomínio de produção familiar 'Dona Bia', zona rural de Juazeiro do Norte, distante aproximadamente 6 Km da sede da cidade, localizada no Cariri cearense.

As amostras de solo foram coletadas em junho de 2019, em três áreas de sistema de cultivo diferentes. Nos três sistemas de cultivo diferentes: área 1: SAF de dois anos; área 2; SAF com um ano) e área 3: Sistema convencional com cultivo consorciado de milho e feijão. Os solos das áreas analisadas são profundos de textura franco arenosa (75,5% de areia, 5% de silte e 19,5% de argila).

Em cada área de cultivo foram coletadas amostras simples de solo nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, que após homogeneizadas constituíram-se em uma amostra composta para cada uma das áreas em estudo e para cada camada de solo, conseqüentemente, seis amostras compostas das quais foram enviadas ao laboratório de Fitopatologia da Universidade Federal do Cariri 300g para análises laboratoriais de microbiologia do solo.

### 3.2. Análises microbiológicas

As análises microbiológicas realizadas foram estimativas das populações de fungos totais, bactérias totais, *Trichoderma*, bactérias formadoras de endósporo e *Pseudomonas* do grupo fluorescente. As densidades populacionais foram analisadas usando diluições em série e plaqueamento em meios de cultura. As amostras de solo foram divididas em quatro subamostras e uma alíquota de 10 g foi retirada de cada subamostras e adicionada à 90 mL de água destilada esterilizada.

Após homogeneização em mesa agitadora a 200 rpm por 30 minutos, foram efetuadas diluições em série ( $10^{-2}$  e  $10^{-3}$ ) e as suspensões distribuídas em diferentes meios de cultura: batata dextrose ágar (BDA) (TUIITE, 1969) com 250 ppm de tetraciclina para cultivo de fungos totais; meio extrato nutricional levedura- dextrose-ágar (NYDA) (TUIITE, 1969) para bactérias totais; meio seletivo para *Trichoderma* (TSM) (ELAD; CHET, 1983); meio B de King (KMB) para *Pseudomonas* fluorescentes (KING *et al.*, 1954); meio ágar nutriente (AN) (TUIITE, 1969) para bactérias que formam endósporos, sendo que neste caso, antes do plaqueamento, as diluições foram submetidas à banho-maria de 80°C por 20 minutos (SNEATH, 1986). As placas foram incubadas a 25°C no escuro.

Para cada microrganismo-alvo, o delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições (subamostras) por tratamento (situações de queimada), sendo cada repetição constituída por três placas. As populações bacterianas foram avaliadas após 48 horas de incubação e as populações fúngicas após cinco dias de incubação. Cada densidade população resultou do número médio de colônias em três placas e foi expressa em unidades formadoras de colônias por grama de solo (ufc g<sup>-1</sup> solo).

### 3.3. Indicadores de qualidade de solo

O questionário utilizado na pesquisa foi adaptado de Nicholls (2004), desenvolvido para avaliar a qualidade do solo em diferentes sistemas, juntamente com os agricultores e profissionais da área, de forma simples e acessível. Os questionários utilizados foram aplicados por seis engenheiros agrônomos, um técnico em irrigação e a agricultora familiar proprietária das áreas em estudo. Os profissionais envolvidos na pesquisa trabalham no município e assim conhecem bem a propriedade. Nesse método avalia-se cada indicador de qualidade dos solos separadamente e são atribuídos valores ou notas entre 1 e 10, para cada pergunta de acordo com os atributos observados no solo, sendo 1(um) o valor menos desejável, 5 (cinco) um valor moderado ou limiar e 10 (dez) o valor mais preferido (NICHOLLS *et al.*, 2004).

A metodologia participativa foi apresentada e discutida antecipadamente com os participantes voluntários e foi dividida em etapas: 1. Apresentação detalhada da propriedade – caracterização das áreas e de sua diversidade socioambiental; 2. Seleção de indicadores - padronização para comparação e atribuição de valores aos indicadores com base no que é desejável para o sistema; 3. Aplicação e mensuração dos indicadores em campo pelo método participativo da travessia na unidade, segundo metodologia recomendada por verdejo (2006) e 4. Compilação e integração dos diferentes resultados.

Foram usados dez indicadores. **Grupo 1:** I) Estrutura; II) Compactação e infiltração; III) Profundidade do solo; IV) Estados dos resíduos orgânicos; V) Coloração, odor e matéria orgânica. **Grupo 2:** VI) Retenção de umidade; VII) Desenvolvimento das raízes; VIII) Cobertura do solo; IX) Erosão e X) atividade biológica. Os questionários preenchidos individualmente pelos participantes em dias ou horários distintos e foram aplicados para as três áreas estudadas.

Os resultados foram detalhados em dois grupos de 5 indicadores e apresentados em gráficos do tipo radar, que segundo Altieri & Nicholls (2002) é uma ferramenta metodológica, simples e eficiente. Os autores reforçam que o uso do gráfico do tipo radar permite que “os agricultores visualizem suas práticas por meio visual dos indicadores e assim detectam quais aspectos estão mais debilitados e com isso necessitam ser priorizados.”

### 3.4. Análise estatística dos dados

Para a análise estatística dos dados referente aos indicadores microbiológicos do solo, os valores originais de densidades populacionais foram transformados em Log (x) e submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo as médias comparadas pelo teste da Diferença Mínima Significativa (LSD) de Fisher ao nível de 5% de probabilidade (P=0,05), com o auxílio do programa Statistix 9.0 (Analytical Software, Tallahassee, EUA).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Análises microbiológicas

Os microrganismos de solo analisados, apresentaram-se em maior quantidade na área 1(SAF com mais de dois anos) as análises aqui descritas mostraram que as populações de fungos totais diminuem à medida que a profundidade do solo aumenta conforme tabela 01. Nos estudos feitos por Goberna *et al.* (2005) os resultados foram semelhantes, pois a quantidade de fungos também reduzia conforme ia tendo aumento de profundidade, e segundo os autores acima, tal comportamento justifica-se pela forte relação que existe entre microrganismos e o acúmulo de nutrientes e matéria orgânica do solo.

**Tabela 01. Resultados das unidades formadoras de colônia nas duas áreas de SAFs (Área 1: SAF 2 anos; Área 2: SAF com 1 ano) e no cultivo convencional (Área 3) para fungos indicadores de qualidade de solo.**

Área	Populações de microrganismos	
	Fungos totais (x10 <sup>4</sup> ufc/g solo)	<i>Trichoderma</i> (x10 <sup>2</sup> ufc/g solo)
ÁREA 1 0-10 cm	1,57 b*	6,67 a
ÁREA 1 10-20 cm	1,13 c	1,67 c
ÁREA 2 0-10 cm	1,77 b	4,67 b
ÁREA 2 10-20 cm	0,43 d	0,67 c
ÁREA 3 0-10 cm	2,50 a	6,00 a
ÁREA 3 10-20 cm	1,53 b	1,33 c
C.V. (%)	9,76	11,13

\*Média de três repetições de dados originais. Para a análise estatística, os valores originais foram transformados em log(x). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelos testes da Diferença Mínima Significativa (DMS) de Fischer, ao nível de 5% de probabilidade (P=0,05).

As amostragens de solo feitas a 10 cm de profundidade para área 1 e 2 não apresentaram diferenças significativas, contudo mostraram que estão em uma biomassa indicadora de plena

atividade microbiana. O gênero *Trichoderma* spp. que são fungos de vida livre, estão comumente presentes em ecossistemas do solo e assim nas raízes. Produzem e liberaram uma variedade de compostos que são capazes de induzir respostas de resistência localizadas ou sistêmicas, e isso explica sua falta de patogenicidade para as plantas (MACHADO *et al.*, 2012).

O fungo *Trichoderma*, atua no sistema radicular das plantas e promove incrementos de produtividade tanto pelo controle de fitopatógenos quanto pela promoção do crescimento vegetal. É perceptível com base na tabela 01 que foi observada diferença significativa, com níveis mais elevados na área 1 (SAF com 2 anos e na área 3 (cultivo convencional, seguido da área 2 (SAF com 1 ano) de modo particular nos primeiros 10 cm de solo. Os valores observados na camada de 10 a 20 cm apresentam redução significativa em relação a camada superior.

Corroborando a estes resultados Harman *et al.* (2004), mostraram em seus estudos que as plantas são protegidas de diferentes classes de patógenos, e que a colonização radicular por *Trichoderma* spp. também eleva o desenvolvimento e crescimento das raízes, a produtividade das culturas, a resistência a estresses abióticos e a absorção e utilização de nutrientes.

As áreas de SAF'S são mais férteis e agricultáveis, isso se explica pelo fato de que os componentes microbianos vivos do solo, que são eles a biomassa microbiana, bactérias e fungos representam cerca de 90% da atividade microbiana do solo (CARDOSO *et al.*, 2009).

Os resultados para bactérias totais, *bacillus* e *Pseudomonas fluorescentes* são apresentadas na tabela 02.

**Tabela 02. Resultados das unidades formadoras de colônia nas duas áreas de SAF (área 1: SAF com 2 anos; área 2: SAF com 1 ano) e cultivo convencional (área 3) para bactérias indicadores de qualidade de solo.**

Área	Populações de microrganismos		
	Bactérias totais (x10 <sup>6</sup> ufc/g solo)	<i>Bacillus</i> (x10 <sup>6</sup> ufc/g solo)	<i>Pseudomonas fluorescentes</i> (x10 <sup>4</sup> ufc/g solo)
ÁREA 1 0-10	2,22 b*	1,43 a	1,13 c
ÁREA 1 10-20	1,71 c	0,74 d	5,27 a
ÁREA 2 0-10	2,89 a	0,73 d	0,46 e
ÁREA 2 10-20	0,25 e	0,22 e	0,66 e
ÁREA 3 0-10	1,36 d	0,94 b	0,77 d
ÁREA 3 10-20	0,24 e	0,84 c	1,60 b
C.V. (%)	9,62	2,20	6,22

\*Média de três repetições de dados originais. Para a análise estatística, os valores originais foram transformados em log(x). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelos testes da Diferença Mínima Significativa (DMS) de Fischer, ao nível de 5% de probabilidade (P=0,05).

Conforme a tabela 2, em relação às bactérias totais a área 2 com mais tempo de implantação do SAF na camada de 0-10 cm apresentou resultados significativamente mais significativos quando comparado a SAF 2 na mesma profundidade e este foi superior ao cultivo convencional na profundidade analisada. Na SAF 1 destaca-se a abundância de bactérias produtoras de celulose em relação as outras áreas de estudo e isso se deve à maior quantidade de degradação de celulose de matéria orgânica morta e viva, bem como acelerada ciclagem de nutrientes em ambientes mais complexos.

Tais resultados corroboram com Xiao *et al.* (2017) que estudaram o nível de respiração basal do solo que é diretamente afetado pela abundância de microrganismos, em geral e em especial por bactérias aeróbicas e produtoras de celulose. A presença dessas bactérias comporta-se melhor em ambiente natural onde a maioria delas é do tipo aeróbico, ou seja, se proliferam melhor em ambiente onde há maior disponibilidade de oxigênio no solo e em ambiente quando alterado.

Quando observamos os dados constantes na tabela 2 relativos a contagem de *Bacillus* verifica-se que houve diferença significativa e os valores mais expressivos foram encontrados na camada de 0-10 cm na área 1 (SAF com 2 anos).

A área 01 (SAF com mais de dois anos) na camada de 10-20 cm destacou-se quanto a presença de *Pseudomonas* fluorescentes que é um microrganismo que está entre os grupos de bactérias do solo, e se destaca por sua grande variabilidade nutricional e pela habilidade de desenvolver em ambientes diversificados e substratos. Embora algumas espécies de *Pseudomonas* manifestem fitopatogenicidade, muitos membros desse grupo, como é o caso da espécie *P. fluorescens*, têm sido associados a efeitos benéficos observados em plantas (JI *et al.*, 2006), o que as configuram como promissoras rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCP).

#### **4.2. Indicadores de qualidade do solo**

Os cinco indicadores de qualidade de solo pertencentes ao grupo 1: I) estrutura; II) compactação e infiltração; III) profundidade do solo; IV) estado dos resíduos orgânicos e V) coloração, odor e matéria orgânica, possuem as médias descritas na tabela 03 e representados na figura 1.

**Tabela 03. Médias dos indicadores de qualidade de solo do grupo 1 para as áreas de SAF (área 1: SAF com 2 anos; área 2: SAF com 1 ano) e cultivo convencional (área 3).**

Indicador de qualidade de solo	Médias		
	Área 01	Área02	Área03
Estrutura	9,29	7,14	4
Compactação e infiltração	9,29	8,57	6,43
Profundidade do solo	9,29	7,86	7,14
Estado dos resíduos orgânicos	9,29	7,86	3,43
Coloração, odor e matéria orgânica	10	7,14	4,43

**Figura 01. Gráfico tipo “radar” das médias de variáveis qualitativas de indicadores de qualidade de solo nas áreas em estudos: área 1, (SAF de dois anos); área 2 (SAF com um ano) e área 3 (cultivo consorciado de milho e feijão). Juazeiro do Norte- CE,2019.**



### I) Estrutura e II) Compactação e infiltração

Em relação ao indicador estrutura do solo a área 1(SAF com mais de dois anos) as notas atribuídas pelos entrevistados tiveram média 9,30 sendo, portanto, positivo neste parâmetro. A possibilidade a estrutura do solo estar em boas condições se deve ao fato de que a família do condomínio de produção familiar Dona Bia em sua unidade, trabalham com ferramentas manuais e consórcios de espécies com diferentes profundidades de raízes.

O uso e manejo do solo na forma de sistema agroflorestal contribuiu para a descompactação em certo grau do solo deixando o mais poroso, com menor densidade possibilitando conseqüentemente maior infiltração. Assim a proteção do solo pelo dossel das árvores, o menor uso de maquinaria pesada no manejo, o não uso de insumos químicos, a manutenção constante de restos culturais sobre o solo e a incorporação de matéria orgânica favoreceu a infiltração da água e menor compactação do solo.

Já para a área 2 (SAF com um ano) e área 3 (consórcio de milho e feijão) as médias obtidas foram 8,57 e 6,43 respectivamente. Na área 2 os agricultores do Condomínio Dona Bia trabalham com ferramentas manuais, uso de tração animal e na área 3 até a realização deste experimento tinham ainda a tradição de uma vez por ano utilizarem um trator para o preparo do solo

Alguns autores analisando solos cultivados com SAF, mostram que esses sistemas de produção que associam em sua dinâmica árvores proporcionam a melhoria da qualidade física do solo através da ação de um ambiente radicular mais profundo e diverso. Essa diversidade de árvores também potencializam a incorporação de matéria orgânica sobre o solo, uma vez que proporciona outros benefícios que atuam diretamente na boa estrutura do solo, entre eles criação de agregados mais estáveis, manutenção de adequada macroporosidade e aumento da vida e atividade biológica que decompõe e transportam a matéria orgânica (PRIMAVESI, 2002; NAIR, 2006). Conseqüentemente a infiltração é favorecida com a diminuição da densidade do solo e da sua compactação.

### III) Profundidade do solo

Para este indicador a área 1, área 2 e área 3 apresentaram resultados positivos, com médias 9,3; 7,9 e 7,2 respectivamente. Estes resultados se justificam tendo em vista que o solo é classificado como Neossolo flúvico, com boa profundidade natural, de textura franco arenosa. As notas mais elevadas alcançadas pelos sistemas agroflorestais devem-se, provavelmente, à diversidade vegetal do sistema de cultivo, que promove exploração e melhoria das qualidades físicas do solo nas diferentes profundidades pela área de exploração e crescimento das raízes das plantas.

#### IV) Estado dos resíduos orgânicos

Quanto ao estado dos resíduos orgânicos, a área 1 e 2 tiveram resultados satisfatórios com médias 9,3 e 7,9; já a área de consorcio do milho com feijão a média foi 3,5 estando bem abaixo do esperado.

#### V) Coloração, odor e matéria orgânica

Para esses indicadores, a área 1 e área 2 obtiveram maiores notas com médias 10 e 7,2 respectivamente; já a área 3 obteve nota média de 4,5 (quatro vírgula cinco), por consequência da decomposição rápida da matéria orgânica, ocasionado pela maior exposição do solo, espécies em estado de senescência e com menor relação carbono/nitrogênio como (feijão e milho) provocando aumento de temperatura ao nível do solo e maior e atividade metabólica dos microrganismos decompositores.

A presença de matéria orgânica é um indicador importante do manejo ecológico do solo, sendo componente indispensável para obtenção da vida e saúde do solo.

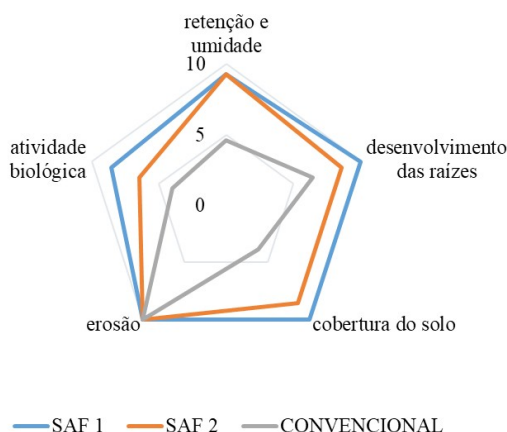
Com relação a coloração do solo, os agricultores do local objeto do estudo, relatam que a cor mudou do 'esbranquiçado' para uma coloração mais escura quando observado a SAF2; quanto a SAF 1, a cor passou do vermelho-claro ou marrom-claro para uma cor mais próxima do preto. Estes resultados corroboram com Botelho et al. (2006) e Gliessman (2009) que afirmam em seus trabalhos que elevados teores de matéria orgânica resultam em uma coloração mais escura nos horizontes superficiais dos solos.

Os cinco indicadores de qualidade de solo pertencentes ao grupo 2: VI) Retenção de umidade; VII) Desenvolvimento das raízes; VIII) cobertura do solo; IV) Erosão e X) Atividade biológica, possuem as médias descritas na tabela 04 e estão representados na figura 2.

**Tabela 04 – Médias dos indicadores de qualidade de solo do grupo 2 para as áreas de SAF (área 1: SAF com 2 anos; área 2: SAF com 1 ano) e cultivo convencional (área 3).**

Indicador de qualidade de solo	Médias		
	Área 01	Área 02	Área 03
Retenção de umidade	9,29	9,29	4,57
Desenvolvimento das raízes	10	8,57	6,43
Cobertura do solo	10	8,57	3,86
Erosão	10	10	10
Atividade biológica	8,57	6,43	4

**Figura 02. Gráfico tipo “radar” das médias de variáveis qualitativas de indicadores de qualidade de solo nas áreas em estudos: área 1(SAF de dois anos); área 2 (SAF com um ano) e área 3 (cultivo convencional consorciado de milho e feijão). Juazeiro do norte- CE,2019.**



## VI) Retenção de umidade

No tocante a este indicador, as áreas de SAF 1 e SAF 2 mostraram-se bem promissoras, com natas médias 9,29 para ambas, pois a técnica de se trabalhar com espécies de diferentes estratos contribuiu para aumentar a capacidade do solo em reter a umidade dentro do sistema, logo, mesmo em períodos de seca as árvores contribuem para reter a umidade do orvalho noturno, além de que o uso do componente arbóreo, o manejo do solo com cobertura constante de restos culturais e o maior sombreamento do solo contribuem para o aumento da retenção de umidade.

Gliessman (2009) confirma isso quando afirma que os SAFs desempenham um importante papel de regulação microclimática e conservação da umidade no solo, por meio sombreamento parcial em período mais secos. O aumento de retenção de umidade, é resultante também da importantíssima cobertura morta que reduz a evapotranspiração do horizonte superior do solo, (MAY et al., 2008).

## VII) Desenvolvimento das raízes

Para este indicador, todas as áreas apresentaram médias superiores a 5,0 (cinco), média considerada como 'limiar', porém a SAF 1 se sobressaiu, obtendo média 10, e a Área 2 e 3 apresentaram médias 8,6 e 6,5 respectivamente.

Em conversa com os proprietários podemos afirmar que no sistema convencional de cultivo ocorria problemas no crescimento de algumas plantas de ciclo anual e também de frutíferas plantadas anteriormente, como também havia a perda de mudas plantadas, tendo como causa principal a falta de umidade no solo e pela exposição das plantas ao sol durante todo o dia. Todavia, as culturas trabalhadas em moldes de SAF apresentam melhor resistência à seca, permanecem mais 'viçosas' nesta época e apresentam maior resistência às pragas e doenças, devido a cobertura constante do solo pelos restos culturais, a ação descompactadora das raízes das leguminosas dentre outras plantas nativas e a prática de cultivo sem uso de maquinaria pesado e agrotóxico.

Tanto a cobertura viva como a cobertura morta do solo exercem importante papel no incremento e na manutenção da fertilidade do solo, pois impedem o impacto direto da chuva na camada de solo, impossibilita a lixiviação de nutrientes, com isso aumenta a atividade biológica do solo e de matéria orgânica que representa 90% da CTC (capacidade de troca de catiônica) do solo

que se mostra como mecanismo fundamental da promoção da nutrição adequadas de plantas (PENEIREIRO et al., 2002).

### **VIII) Cobertura do solo**

No que diz respeito a esse indicador o melhor resultado alcançado foi da área 1 (SAF com mais de dois anos), com nota média 10, estando assim dentro do parâmetro positivo, em decorrência de sua área estar com maior nível de cobertura viva e/ou morta na maior parte das áreas úteis de cultivo. A família do condomínio de agricultura familiar “Dona Bia” preserva e recolhe os resíduos vegetais para incluir em suas áreas de produção. A área 2 obteve resultado positivo também, tendo nota média de 8,57 e na área 3 o resultado foi abaixo da nota limiar, uma vez que apresentou média abaixo de 4. No cultivo convencional, há pouca diversidade de espécies, que após a colheita, as plantas entram em senescência e se decompõem rapidamente, deixando o solo com pouca cobertura.

Reforçando o que foi mencionado em alguns outros indicadores, Gliessman (2008) ressalta algumas considerações pertinentes a respeito da importância de se trabalhar com cobertura no solo, uma vez que o uso dessa técnica possibilita uma barreira muito efetiva para que não se perca a umidade do solo.

### **IX) Erosão**

Neste indicador, todas áreas apresentaram avaliação positiva com média 10 (dez). Isso ocorreu devido ao fato de que essas áreas apresentam topografia quase plana, com pouca declividade, infiltração e compactação com notas acima da média limiar ou acima de 5 (cinco) o que pode ser visto como uma boa estratégia de controlar a erosão, além da boa presença de cobertura vegetal adotada pela unidade familiar.

Quanto as SAFs podemos dizer que seu manejo proporcionou um controle da erosão do solo através do aumento da infiltração da água, que impede a formação de enxurradas e conseqüentemente o carregamento de sedimentos.

Corroborando a estes resultados, Cadisch et al. (2006) mostram que a elevada incorporação de matéria orgânica em SAFs tida como fator central do controle de escoamento superficial de água no solo e o controle do escoamento de sedimentos, se dá pelo aumento da infiltração de água no solo, da diminuição do impacto desagregador da gota de água da chuva. Além disso, o contínuo trabalho de incorporação de resíduos culturais ao solo e uso mínimo de roçadeiras e enxadas no solo, eleva a atividade biológica do solo, a qual tem papel importantíssimo na promoção da melhoria do solo.

### **X) Atividade biológica**

Sobre este indicador de atividade biológica pelo método de avaliação participativa, a área 1 um obteve melhor média ficando na categoria excelente (nota 10), enquanto que área 2 e 3 as notas médias foram 6,5 e 4, respectivamente.

Assim a área 1 e 2 mostraram resultados positivos, conseqüentemente pela resposta ao aprimoramento da vida, através do manejo ecológico do solo dos cultivos consorciados com leguminosas e seus resíduos que permanecem no local, adição de compostos orgânicos bem como resíduos dos animais.

Para Epelde et al. (2014) os atributos da qualidade do solo, sejam eles estrutura, matéria orgânica, presença de invertebrados e atividade microbiológica são tidos como indicadores de qualidade do solo e podem ser utilizados no monitoramento de alterações ecológicas decorrentes do uso agrícola. Dessa forma, sistemas de manejo conservacionistas em que a comunidade microbiana do solo é pouco perturbada apresentam maiores níveis de diversidade e estabilidade, contribuindo para maior vitalidade dos agroecossistema (FERREIRA; WENDLAND; DIDONET, 2011).

## 5. CONCLUSÕES

A composição da microbiota dos solos estudados revela que pode haver uma relação direta da qualidade do solo com o tempo de implantação dos sistemas agroflorestais, principalmente nas camadas superiores.

Nas condições em que o estudo foi realizado a avaliação dos indicadores de qualidade de solo mostram que as áreas de SAFs apresentaram médias superiores às áreas com sistema de cultivo convencional, o que demonstra o potencial dos sistemas agroflorestais quanto às práticas conservacionistas de manejo do solo.

A metodologia participativa par avaliação de qualidade do solo mostrou-se adequada, tanto para analisar as diferenças do solo, como para promover a participação dos agricultores, pesquisadores e técnicos na discussão dos resultados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTIERI, M., NICHOLLS, C. I. Sistema agroecológico rápido de evaluación de calidad de suelo y salud de cultivos en el agroecossistema de café. In: Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sustentabilidad de cafetales. **Manejo Integrado de Pragas y Agroecología**, Costa Rica, v. 64, p. 17-24, 2002.

BOTELHO, M. R. et al. Medida da cor em solos do Rio Grande do Sul com a carta de Munsell e por colorimetria. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.36, n.4, p. 1179-1185, jul-ago, 2006. Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext &pid=S0103-84782006000400021](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782006000400021)>. Acesso em: 10 ago. 2019

BROWN, G.G., RÖMBKE, J., HÖFER, H., VERHAAGH, M., SAUTTER, K.D., SANTANA, D.L.Q. (2009) Biodiversity and function of soil animals in Brazilian agroforestry systems. In: Gama-Rodrigues, A.C., Barros, N.F., Gama-Rodrigues, E.F., Freitas, M.S.M., Viana, A.P., Jasmin, J.M., Marciano, C.R., Carneiro, J.G.A., (eds.) **Sistemas Agroflorestais: Bases Científicas para o desenvolvimento sustentável**. UENF, Campos dos Goytacazes, pp. 217–242.

CADISCH, G.; MUTUO, P; MERCADO, A. et al. Organic matter management in tropical agroforestry systems: soil quality, soil C storage and soil-atmosphere gas Exchange. In: GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F.; GAMARODRIGUES, A. F. (Editores). **Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável**. 1ª ed. Campos dos Goytacazes, RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006. 365 p

- CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; MOREIRA, F. M. de S.; CURI, N. 2009. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 44(6): 631-637
- CASADO, G.I.G.; MIELGO, A.M.A. La investigación participativa en agroecología: una herramienta para el desarrollo sustentable. **Ecosistemas**, v.16, p.24-36, 2007.
- ELAD, Y.; CHET, I. Improved selective media for isolation of *Trichoderma* spp. or *Fusarium* spp. **Phytoparasitica**, v. 11, n. 1, p. 55-58, 1983.
- EPELDE, L. et al. Microbial properties and attributes of ecological relevance for soil quality monitoring during a chemical stabilization field study. **Applied Soil Ecology**, v. 75, p. 1-12, 2014.
- FERREIRA, E. P. B.; WENDLAND, A.; DIDONET, A. D. Microbial biomass and enzyme activity of a Cerrado Oxisol under agroecological production system. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 1-9, 2011.
- GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 4. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS, 2009. 654p
- GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: Processos ecológicos em agricultura sustentável**. 4. ed. - Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2008. 656 p.
- GOBERNA, M. et al. Microbial community structure at different depths in disturbed and undisturbed semiarid Mediterranean forest soil. **Microbial Ecology**. v. 5, n. 40, p. 315- 326, 2005
- GÖTSCH, E. **Break-through in agriculture**. [s.l.] AS-PTA Rio de Janeiro, 1995.
- HARMAN, G.E.; Howell, C.R.; Viterbo, A.; Chet, I. e Lorito, M. (2004a) - *Trichoderma* species – opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature Reviews Microbiology**, 2: 43–56.
- KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J.W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Qualidade do solo: um conceito, definição e estrutura para avaliação (UmConvitado Editorial). **Sociedade de Ciência do Solo do Jornal da América**, v. 61, p. 4-10,1997.
- KENNEDY, A. C. **Bacterial diversity in agroecosystems**. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 74, n. 1, p. 65-76, 1999 2011.
- LAVELLE, P. Ecological challenges for soil science. **Soil Science**, Washington, v. 165, n. 1, p. 73-86, 2000
- MACHADO, V.; BERLITZ, D. L.; MATSUMURA, A. T. S.; SANTIN, R. C. M.; GUIMARÃES, A.; SILVA, M. E.; FIUZA, L. M. Bactérias como agentes de controle biológico de fitonematoides. **Oecologia Australis**, v. 16, p. 165-182, 2012.

MACHADO, C. T. T; VIDAL, M. C. **Avaliação participativa do manejo de agroecossistemas e capacitação em agroecologia utilizando indicadores e sustentabilidade de determinação rápida e fácil.** Embrapa Cerrados, Planaltina- DF, P. 11-12, P. 40-41, dez 2006.

MATSUOKA, M.; MENDES, I.C. & LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 27, p. 425-433, 2003.

MAY, P.H.; TROVATTO, C.M.M. **Manual agroflorestal para a mata atlântica.** Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário, Secretaria de Agricultura Familiar, 2008. 196 p. Disponível em: Acesso em: 10 ago. 2019

MELO FILHO, J. F; SOUZA, A.L.V; SOUZA, L.S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.6, p.1599-1608, 2007.

NAIR, P.K.R. The role of soil science in the sustainability of agroforestry systems: eliminating hunger and poverty. In: GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. F. (Editores). **Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável.** 1ª ed. Campos dos Goytacazes, RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006. 365 p.

NICHOLLS, C. I.; ALTIERI, M. A.; DEZANET, A.; LANA, M.; FEISTAUER, D.; OURIQUES, M. A rapid farmer-friendly agroecological method to estimate soil quality and crop health in vineyard systems. **Biodynamics**, Pottstow, n. 250, p. 33-40, 2004.

NOGUEIRA, M. A. Aplicação de resíduos ao solo: a microbiologia pode ajudar no monitoramento? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34. 2013, Florianópolis. Ciência do solo: para quê e para quem? **Anais...** Florianópolis: SBCS, p.4, 2013.

PENEIREIRO, F.M. et al. **Apostila do educador agroflorestal: uma introdução aos sistemas agroflorestais.** Universidade Federal do Acre, 2002. 76p. Disponível em: Acesso em: 14 ago. 2019.

PINTO, M. C. E; SCHEIFFER, T. G; FRANÇA E. M.; AQUINO A. M. de; ASSIS R. L. de. Metodologia participativa para avaliação de indicadores de qualidade do solo: a conjugação do saber local e acadêmico no processo de ensino-aprendizagem em agroecologia. **Cadernos de Agroecologia**, [S.l.], v. 12, n. 1, jul. 2017. ISSN 2236-7934. Disponível em: <<http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/cad/article/view/22307>>. Acesso em: 19 agosto. 2019.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo.** São Paulo: Nobel, 2002.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C. **Dinâmica da matéria Orgânica do Solo em Sistemas Conservacionistas: Modelagem Matemática e Métodos Auxiliares.** Dourados: Embrapa Agropecuária este, 2006, 304p.

SILVA, R. O. et al. **As vozes da floresta e a ecologia de saberes**. In: Steenbock, W. Agrofloresta, ecologia e sociedade. 1. ed. Curitiba: Kairós, 2013

SNEATH, P. H. Endospore-forming gram-positive rods and cocci. In: SNEATH, P. H.; MAIR, N. S.; SHARPE, M. E.; HOLT, J. G. (Eds.). **Bergey's manual of systematic bacteriology**. Baltimore: Williams & Wilkins, 1986. v. 2, p. 1104-1207.

TUITE, J. **Plant pathological methods: fungi and bacteria**. Minneapolis: Burgess, 1969. 239 p.

TIEDJE, J. M.; CHO, J. C.; MURRAY, A.; TREVES, D.; XIA, B.; AHOU, J. Soil teeming with life: new frontiers for soil science. In: REES, R. M.; BALL, B. C.; CAMPEBELL, C. D.; WATSON, C. A. (Org.). **Sustainable management of soil organic matter**. Wallingford: CAB International, 2001. p. 393-412.

VAZ DA SILVA, P. P. **Sistemas agroflorestais para recuperação de matas ciliares em Piracicaba**, SP. p. 98, 2002.

XIAO, H.; LI, Z.; CHANG, X.; HUANG, J.; NIE, X.; LIU, C.; LIU, L.; WANG, D.; DONG, Y.; JIANG, J. Soil erosion-related dynamics of soil bacterial communities and microbial respiration. **Applied Soil Ecology**, 119: 205- 213, 2017.

YANA, W.; WEINERT, H. **Técnicas de sistemas agroflorestais multiestratos: manual prático**. [s.l.] Sapecho: PIAF - el Ceibo, 2001. p. 58.