



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS NATURAIS
MESTRADO ACADÊMICO EM CIÊNCIAS NATURAIS

APARECIDA BARBOSA DE PAIVA

POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DA CASCA DE COCO VERDE TRITURADA

**FORTALEZA - CEARÁ
2020**

APARECIDA BARBOSA DE PAIVA

POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DA CASCA DE COCO VERDE TRITURADA

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Ciências Naturais do Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ciências Naturais.

Área de concentração: Monitoramento de Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Olmar Baller Weber

FORTALEZA- CEARÁ
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Estadual do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Paiva, Aparecida Barbosa de.

Potencial de utilização da casca de coco verde triturada [recurso eletrônico] / Aparecida Barbosa de Paiva. - 2020.

85 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado acadêmico) - Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Curso de Programa de Pós-graduação em Ciências Naturais - Mestrado, Fortaleza, 2020.

Orientação: Prof. Dr. Olmar Baller Weber.

1. resíduo vegetal, qualidade do solo, atividade micorrízica, Cocus nucifera. I. Título.

APARECIDA BARBOSA DE PAIVA

POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DA CASCA DE COCO VERDE TRITURADA

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Ciências Naturais do Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ciências Naturais.

Aprovada em: 19/02/2020

BANCA EXAMINADORA



Dr. Olmar Baller Weber (Orientador)
Embrapa Agroindústria Tropical



Dr. Carlos Alberto Kenji Taniguchi
Embrapa Agroindústria Tropical



Prof. Dr. Carluccio Roberto Alves
Universidade Estadual do Ceará

*Dedico este trabalho a Deus,
aos meus pais Noeme e Manoel,
cujo exemplo, força e amor
estimulam cada passo em minha
vida, a vocês toda minha
gratidão.*

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter sido minha força e proteção durante esta etapa, pela família maravilhosa, amigos fiéis e por todas as oportunidades a mim concedidas.

Aos meus pais, Noeme Barbosa de Paiva e Manoel Alves de Paiva pelo apoio e incentivos diários e por nunca terem desistido, seguirei seus exemplos.

À Rayane Mêrces por todo amor, carinho e compreensão durante esta etapa, dedico.
Ao meu orientador, Dr. Olmar Baller Weber, por toda a paciência, por ter compartilhado seu valioso conhecimento, pelo empenho e por não ter desistido de me acompanhar nessa trajetória, levarei seu exemplo adiante.

Ao Dr. Carlos Alberto Kenji Taniguchi, por colaborar juntamente com sua equipe nas etapas de campo e análises químicas desse estudo.

À Dra. Marcela Pagano, pela disposição e auxílio na identificação dos esporos de fungos MA.

Ao Dr. Ricardo Espindola Romero, pelo auxílio na caracterização mineralógica do solo. À Dra. Deborah dos Santos Garruti pelo auxílio nas análises estatísticas multivariadas.

À banca examinadora do exame de defesa. Dr. Carlos Alberto Kenji Taniguchi e Dr. Carlúcio Roberto Alves

Ao meu querido amigo e professor, Fabrício Bonfím Sudério, por sempre ter acreditado em mim e por todas as oportunidades a mim concedidas, todo meu carinho, respeito e estima.

Aos amigos, Crislândia, Daniel, Elane e Emanoela que conquistei durante esta etapa e que tornaram a rotina mais leve e repleta de novos aprendizados.

A amiga e irmã Raquel Menezes, por todo carinho, companheirismo e auxílio durante esta etapa, a você todo meu carinho e gratidão eterna.

Ao querido amigo Francisco Nunes por todo companheirismo e parceria e por tornar os dias difíceis mais leves e cheios de alegria.

Aos meus professores do curso de Mestrado em Ciências Naturais, por cada aprendizado e conhecimentos compartilhados.

À Faculdade de Educação de Crateús-CE em especial a coordenação do curso de Ciências Biológicas, por ter entendido e me liberado em vários momentos aos quais precisei me ausentar do trabalho.

Ao Programa de Pós Graduação em Ciências Naturais, pela oportunidade de realizar este sonho.

À Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, por disponibilizar suas instalações e materiais

para a realização deste trabalho.

À empresa Aquacoco de Maxaranguape-RN e ao gerente da empresa Sr. Diogo Gaspar, pela prestatividade e apoio na realização deste estudo.

*“Um único sonho é mais
poderoso do que mil
realidades”*

(J.R.R Tolkien)

RESUMO

Indicadores de qualidade do solo têm sido considerados para o manejo de agroecossistemas em uma perspectiva de obter-se uma produção mais sustentável no meio rural. No presente estudo avaliou-se a decomposição da casca de coco verde triturada e os seus efeitos sobre atributos químicos e biológicos de qualidade do solo no litoral do Nordeste brasileiro. O trabalho foi realizado em um Neossolo Quartzarênico Ortodoxo típico em um pomar de coco, no município de Maxaranguape, Estado do Rio Grande do Norte (Brasil). Em um pomar contínuo, foi estabelecido um delineamento em blocos ao acaso, adotando seis repetições por tratamento. Foi aplicada uma dosagem de 100 toneladas do resíduo de casca de coco (base seca) nas entrelinhas dos coqueiros, tendo-se como tratamentos: T1) área com resíduo após 72 meses da aplicação, T2) área com resíduo após 36 meses da aplicação, T3) área com resíduo após 12 meses da aplicação, T4) área com resíduo aplicado há 1 mês da avaliação e T5) área com plantas de 72 meses de idade, sem aplicação do resíduo. Foram avaliados atributos químicos e biológicos do material residual da casca de coco verde triturada e do solo de cada unidade experimental. A concentração de nutrientes no resíduo permaneceu a mesma ao longo do tempo avaliado, proporcionando aportes nas seguintes ordens de grandeza: C (orgânico) > K > N > Mg > Na > Ca > P > S > Cu > Fe > Mn > Zn ao solo. Ao longo dos tempos avaliados houve incremento na disponibilidade de macronutrientes, como N, P, K e Na, e aumento da soma de bases e da capacidade de troca catiônica do solo. No período de 72 meses também houve incremento na atividade da biomassa microbiana, medida pela respiração edáfica e pelos quocientes metabólico e mineralização da matéria orgânica. Ao longo dos períodos ainda foram detectadas variações em comunidades de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, sem afetar a diversidade desses fungos de solo. Morfotipos de esporos desses fungos prevalentes estão relacionados às espécies de *Acaulospora laevis*, *Acaulospora scrobiculata* e *Claroideoglonus etunicatum*. Com as evidências deste estudo agora pode ser recomendada a reciclagem do resíduo de casca de coco verde e seu uso como cobertura orgânica do solo arenoso cultivado com coqueiros em localidades próximas da agroindústria geradora do resíduo.

Palavras-chave: resíduo vegetal, qualidade do solo, atividade micorrízica, *Cocos nucifera*

ABSTRACT

Soil quality indicators have been considered for agro-ecosystem management in order to achieve more sustainable production in rural areas. In the present study, the decomposition of the crushed green coconut shell and its effects on chemical and biological attributes of soil quality on the coast of northeastern Brazil were evaluated. The work was carried out on a typical Orthic Quartzarenic Neosol in a continuous coconut orchard, in the municipality of Maxaranguape, State of Rio Grande do Norte (Brazil). A randomized block design was established, adopting six replicates per treatment. The dosage equivalent to 100 tons of coconut shell residue (dry basis) was applied between the lines of the coconut trees, with the following treatments: T1) area with residue after 6 years of application, T2) area with residue after 3 years of application, T3) area with residue after 1 year of application, T4) area with residue applied 30 days before the evaluation, and T5) area with 6-year-old plants, without application of the residue. Chemical and biological attributes of the organic residual material of the crushed green coconut shell and the soil of each experimental unit were successfully evaluated. The concentration of nutrients in the residue remained the same over the evaluated time, providing contributions in the following orders of magnitude: C (organic) > K > N > Mg > Na > Ca > P > S > Cu > Fe > Mn > Zn to the soil. Throughout the evaluated times, there was an increase in the availability of macronutrients, such as N, P, K and Na, and an increase in the sum of bases and in the cation exchange capacity of the soil. In the six-year period, there was also an increase in the activity of microbial biomass, measured by edaphic respiration and by the metabolic quotients and mineralization of organic matter. Over those periods, variations in spore communities of arbuscular mycorrhizal fungi were also detected, without affecting the spore diversity of these soil fungi. Morphotypes of these prevalent fungi were related to the species of *Acaulospora laevis*, *Acaulospora scrobiculata* and *Claroideoglossum etunicatum*. Based on the evidence from this study, it can now be recommended to recycle the green coconut shell residue and use it as an organic cover for the sandy soil cultivated with coconut palms in locations close to the waste-generating agro-industry.

Keywords: plant residue, soil quality, mycorrhizal activity, *Cocos nucifera*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-Estrutura do fruto do coqueiro	29
Figura 2-Imagem da localização e cobertura do solo em pomar de coqueiro anão em Maxaranguape, RN (Brasil).....	40
Figura 3-Valores médios de temperatura do ar e de precipitação pluviométrica no município de Maxaranguape-RN.....	41
Figura 4-Disposição da casca de coco verde triturada nas áreas de produção da Fazenda Fada em Maxaranguape-RN.....	42
Figura 5-Plântulas de coqueiro verde-anão e frutos.....	43
Figura 6-Presença de raízes finas do coqueiro abaixo da camada de casca de coco verde triturada sob o solo	50
Figura 7-Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos segundo os teores de nutrientes do material residual dos tratamentos avaliados.	53
Figura 8-Análise de componentes principais (PCA) com base nas variáveis químicas do material residual do coco em diferentes períodos de decomposição.	54
Figura 9-Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos segundo as variáveis de nutrientes químicos do solo dos tratamentos avaliados.	56
Figura 10-Análise de componentes principais (PCA) com base nas variáveis químicas do solo em diferentes períodos de decomposição da Fazenda Fada em Maxaranguape-RN.....	57
Figura 11-Correlação de Pearson com base nas variáveis químicas e atributos biológicos do solo em diferentes períodos de decomposição do resíduo na Fazenda Fada em Maxaranguape-RN.....	60
Figura 12-Análise de componentes principais (PCA) com base nas variáveis químicas e biológicas do solo em diferentes períodos de decomposição na Fazenda Fada em Maxaranguape-RN.....	60

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1-Descrição dos tratamentos avaliados na Fazenda Fada em Maxaranguape- RN . 42**
- Tabela 2-Descrição morfológica de horizontes e aspectos granulométricos, químicos e biológicos do Neossolo Quartzarênico Órtico típico sob cultivo do coqueiro 49**
- Tabela 3-Biomassa, teores de nutrientes e relações de alguns nutrientes no resíduo de casca de coco verde aplicado nas entrelinhas de coqueiro verde anão em Maxaranguape-RN..... 50**
- Tabela 4-Nutrientes remanescentes das áreas com menor tempo de aplicação do resíduo (T4) e com maior tempo de aplicação (T1)..... 51**
- Tabela 5-Atributos químicos do solo submetido a tratamentos com casca de coco verde na Fazenda Fada em Maxaranguape-RN..... 55**
- Tabela 6-Valores de respiração basal do solo (RBS), carbono da biomassa microbiana (CBM) e os quocientes metabólicos (qCO₂), microbiano (qMic) e de mineralização do carbono (qMin) no solo tratado com resíduo da casca de coco verde em Maxaranguape-RN..... 58**
- Tabela 7-Descrição dos morfotipos de esporos de FMA em diferentes lotes de solo adubado com resíduo da casca de coco verde na Fazenda Fada em Maxaranguape-RN..... 61**
- Tabela 8-Abundância e frequência relativas e diversidade de FMA no solo tratado com resíduo da casca de coco verde, em Maxaranguape (RN). 63**

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
2 REVISÃO DE LITERATURA	27
2.1 A CULTURA DO COQUEIRO (<i>Cocus nucifera L.</i>)	27
2.2 DESENVOLVIMENTO E NUTRIÇÃO DO COQUEIRO ANÃO VERDE	28
2.3 UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE COCO NO SISTEMA PRODUTIVO.....	29
2.4 NEOSSOLOS QUARTZARÊNICO.....	31
2.5 INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO	32
2.5.1 <i>Carbono e Nitrogênio</i>	33
2.5.2 <i>Indicadores físico-químicos</i>	34
2.5.3 <i>Indicadores biológicos</i>	35
3 OBJETIVOS	39
3.1 GERAL.....	39
3.2 ESPECÍFICOS	39
4 MATERIAL E MÉTODOS	40
4.1 LOCAL E ÁREA DE ESTUDO	40
4.2 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	41
4.3 AMOSTRAGEM E ANÁLISE DO RESÍDUO APLICADO AO SOLO	43
4.4 AMOSTRAGEM DO SOLO.....	44
4.4.1 <i>Análises químicas do solo</i>	44
4.4.2 <i>Análises biológicas do solo</i>	45
4.4.3 <i>Extração dos esporos de FMA</i>	48
4.4 ANÁLISES DE DADOS.....	48
5 RESULTADOS	49
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL DO SOLO.....	49
5.2 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO ORGÂNICO APLICADO NO SOLO	50
5.3 ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICO QUÍMICOS DO SOLO.....	54
5.4 ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS.....	58
5.4.1 <i>Fungos micorrízicos arbusculares (FMA)</i>	61
6 DISCUSSÃO	65
7 CONCLUSÕES	73
REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é uma monocotiledônea da família *Arecaceae*, amplamente disseminada nas regiões tropical e subtropical (MARTINS; JESUS-JÚNIOR, 2011), e o Brasil se destaca como quinto maior produtor de coco. Em nível nacional destaca-se o Nordeste, onde se tem 81% da área ocupada pela cultura e que representa mais de 70% da produção nacional de coco (IBGE, 2019). Os principais municípios produtores encontram-se na faixa litorânea dos estados da Bahia, Ceará e Rio Grande do Norte (ALVES *et al.*, 2018). Concomitante a esta produção agrícola, observa-se também uma expressiva geração de resíduo orgânico, formado pela casca de coco verde (ROSA *et al.*, 2001). Vale notar que algumas capitais se destacam pelo expressivo consumo, como Fortaleza, onde é comum o consumo *in natura* de água de coco, e onde há uma década são geradas cerca de 150 toneladas dia⁻¹ de casca de coco verde (OLIVEIRA, 2010).

Neste contexto, cresce a busca por alternativas de aproveitamento deste material residual lignocelulósico, sobretudo na agricultura, em virtude do teor de nutrientes, além da capacidade deste resíduo em propiciar melhor regulação térmica (MALHOTRA *et al.*, 2017) entre outros atributos do solo. Deste modo, a utilização de casca de coco verde vem sendo recomendada em solos com baixa fertilidade natural, como é o caso dos Neossolos Quartzarênicos, que são muito arenosos e tem uso limitado em razão da fácil lixiviação e perda de nutrientes e matéria orgânica, tornando esta classe de solo dependente de aportes continuados de material orgânico no decorrer do tempo de utilização para produção (LEITE *et al.*, 2017).

Para o cultivo do coqueiro em solos arenosos é necessária a regulação de alguns atributos, tais como sua necessidade hídrica, tendo uma demanda alta por água, mas que seu sistema radicular ramificado contribui para uma expressiva captação de água e nutrientes que perpassem a projeção da copa. Além disso, o coqueiro possui uma demanda de nutrientes a serem fornecidos, que segue a seguintes ordem de magnitude decrescente: potássio (K) > nitrogênio (N) > cloro (Cl) > fósforo (P) > magnésio (Mg) > enxofre (S) > e cálcio (Ca) (OUVRIER, 1990).

Assim, o uso da casca de coco verde triturada como cobertura morta constitui-se como uma barreira física que regula a umidade do solo, que evita a incidência direta da radiação solar, o que por consequência diminui a transferência de energia na forma de vapor de água, além de reduzir perdas por evaporação, sobretudo próximo a região de superfície. Os benefícios da utilização dessas coberturas são recomendados como práticas de manejo, por outro lado os efeitos dessas nas comunidades microbiológicas do solo tem sido registrados como contribuintes para o

funcionamento e atividade da microbiota edáfica do solo (GOMES *et al.*, 2015). Vale notar que os microrganismos atuam na ciclagem do carbono e de outros elementos, influenciando na concentração de nutrientes do solo (MIRANDA *et al.*, 2007) que são essenciais ao crescimento das plantas. Mas a mensuração da efetividade de utilização de casca de coco verde e outros materiais orgânicos é dependente de uma avaliação acerca da influência que os mesmos exercem sobre a qualidade química e biológica do solo. Tal necessidade é justificada pela crescente preocupação da comunidade científica sobre a sustentabilidade de agroecossistemas, principalmente pela ocupação e uso de terras e a produção agrícola (ARAÚJO *et al.*, 2012).

Os efeitos do uso de resíduos advindos da cocoinocultura como cobertura morta em sistemas irrigados com frutíferas tropicais como o coqueiro, em especial a variedade anão verde, ainda são desconhecidas, sendo necessário assim estudos que visem responder os efeitos nessa cultura. Para a mensuração da qualidade de um solo, existe uma gama de indicadores com propriedades mensuráveis tanto de ordem qualitativa quanto quantitativa.

A importância dos indicadores do solo está na possibilidade de se identificar práticas de manejo mais adequados no sentido de provocar alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos. Nesse sentido, justifica-se a definição de indicadores sensíveis ao manejo de modo que estes reflitam e quantifiquem as alterações nos atributos do solo, no sentido de fornecer subsídios para o emprego de tecnologias e técnicas de produção adequadas, contribuindo assim para tornar o solo menos susceptível à perda de sua capacidade produtiva.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CULTURA DO COQUEIRO (*Cocus nucifera* L.)

O coqueiro (*Cocus nucifera* L.) é um membro da família *Arecaceae*, conhecido popularmente no Brasil como coco ou coco-da-baía. Como principal centro de origem é registrado o Sudeste Asiático, mas a cultura tem-se expandido progressivamente para vários países de regiões tropicais, sendo atualmente disseminada por mais de 200 países (MARTINS; JÚNIOR, 2011). No Brasil, as primeiras referências ao cultivo de coqueiro fazem menção ao estado da Bahia, seguido de outros estados da região Nordeste, como Ceará e Rio Grande do Norte, e na região Norte, o estado do Pará (ALVES *et al.*, 2018).

O Brasil destaca-se como quinto maior produtor de coco, ficando atrás apenas da Indonésia, Filipinas, Índia e Sri Lanca. Com exceção do Brasil, estes países detêm cerca de 72% da área ocupada para a produção de coco (BRAINER, 2018). No Brasil, a cultura possui um importante papel comercial e social, o que se deve às múltiplas utilizações do coco, gerando emprego e renda ao longo da cadeia produtiva.

A cultura tem boa adaptação aos solos arenosos que ocorrem na região litorânea (MEDEIROS *et al.*, 2019). O cultivo do coqueiro é recomendado entre latitudes de 20° N e 20° S, onde a temperatura varia entre 22 a 34 °C e as precipitações pluviométricas mensais alcançam cerca de 150 mm (GOMES; PRADO, 2007).

Vale notar que a espécie *C. nucifera* é dividida em: *Typica*, conhecida como coqueiro gigante; e *Nana*, denominada de coqueiro anão, sendo esta última composta das cultivares verde, amarela e vermelha (FONTES; FERREIRA; SIQUEIRA, 2002). A cultivar do coqueiro anão verde, ocupa cerca de 217 mil hectares no Brasil, sendo o Nordeste responsável por cerca de 80% da produção nacional (IBGE, 2019).

O coqueiro anão verde possui um crescimento vegetativo lento, atingindo a fase reprodutiva após 2 a 3 anos do plantio no campo. Com dez anos de idade o coqueiro anão verde atinge cerca de 10 m de altura, e o tempo de vida reprodutiva é estimado em 30 a 40 anos. Em relação a sua produção, esta cultura alcança até 18 picos de inflorescência, propiciando uma produção média de 150 a 200 frutos por ano (BENASSI; FANTON; SANTANA, 2013). Os frutos do coqueiro anão verde são colhidos entre o quinto e o sétimo mês, após a abertura de suas inflorescências, quando se objetiva a produção de água de coco. Mas, essa estimativa de período

de colheita varia em decorrência das condições do solo, da irrigação e do manejo de fertilizantes usados na cultura (FONTES; FERREIRA; SIQUEIRA, 2002).

2.2 DESENVOLVIMENTO E NUTRIÇÃO DO COQUEIRO ANÃO VERDE

Os coqueiros são exigentes em nutrientes, principalmente de potássio (K) e nitrogênio (N), durante seu desenvolvimento (OUVRIER, 1990). A exigência nutricional do coqueiro anão verde está relacionada à elevada produção de cachos, comparado ao coqueiro gigante (TEIXEIRA; SILVA, 2003), onde a produção começa após 5 e 7 anos do plantio, chegando ao pico somente com 10 anos de idade (ARAGÃO *et al.*, 2002).

Em ordem de magnitude de absorção de nutrientes considera-se: $K > N > \text{cloro (Cl)} > \text{fósforo (P)} > \text{magnésio (Mg)} > \text{enxofre (S)} > \text{cálcio (Ca)}$ (OUVRIER, 1990). O K influencia diversos processos metabólicos, além de contribuir na formação e maturação dos frutos (MALAVOLTA, 2008). Ademais, Arroucha *et al.* (2005) relata a importância do K na translocação de açúcares, o que culmina na melhoria da qualidade sensorial da água de coco. Notadamente, o K assume papel no aumento do volume de água dos frutos, além de proporcionar um melhor desenvolvimento vegetativo da parte aérea (SILVA *et al.*, 2017), onde induz a respostas no crescimento da planta em solos salino-sódico, quando se aplica até $4,16 \text{ kg planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de sulfato de potássio (PEREIRA *et al.*, 2017).

Por sua vez, o N influencia a síntese proteica e participa do crescimento vegetativo, atuando igualmente na produção das plantas (TAMPUBOLON; DANIEL; OCHS, 1990). Este nutriente também interage com outros nutrientes como: Ca, Mg e P (FERREIRA- NETO *et al.*, 2014).

A adubação NK é muito importante, de acordo com Silva *et al.* (2009), em Neossolos, onde os autores recomendaram a aplicação de $1.437 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N e $1.553 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K, para atingir picos de produção de $154,75 \text{ frutos planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Já em experimentos realizados por Ferreira-Neto *et al.* (2011), em Neossolo Quartzarênico, as doses de $2.565 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K e $1.540 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N proporcionaram maior quantidade de flores femininas produzidas por planta de coqueiro. De outro modo, Teixeira *et al.* (2005) ressaltaram que doses elevadas de N e K podem resultar em perdas dos elementos por lixiviação, principalmente em solos arenosos, podendo comprometer a sustentabilidade dos coqueirais.

Além do requerimento nutricional, outros fatores influenciam na expressão dos caracteres vegetativos e reprodutivos do coqueiro anão verde, tais como a idade das plantas e as

condições climáticas, especialmente em clima semiárido do Nordeste brasileiro, onde a baixa umidade e a diminuição no regime pluviométrico entre os meses de Junho a Dezembro, levam ao maior número no abortamento de frutos do coqueiro anão (CÂMARA *et al.*, 2019).

O coqueiro anão por apresentar crescimento e desenvolvimento contínuos necessitam de uma condição hídrica adequada do solo, sendo necessário um requerimento hídrico durante a fase de crescimento de 1.263,30 mm, com média diária de 3,90 mm dia⁻¹ (SOUSA *et al.*, 2011), e precipitações anuais em torno de 1.500 mm, distribuídos uniformemente ao longo do ano (FONTES; FERREIRA; SIQUEIRA, 2002). O elevado requerimento hídrico na fase de crescimento é explicado pela alta taxa de evapotranspiração nessa fase produtiva da planta, onde os valores variam de 0,52 mm/dia⁻¹ aos 11 meses de idade, até um valor máximo de 5,01 mm dia⁻¹ aos 36 meses de idade (MIRANDA *et al.*, 2007).

A pegada hídrica na produção de coco é impactante segundo Sampaio *et al.* (2018), sendo a etapa de irrigação em campo responsável por até 78,8% do consumo de água usada no empreendimento rural na região Nordeste. Isto reforça a necessidade de manejar o solo, a água e a cultura. Além da necessidade hídrica requerida pela cultura, a aplicação de resíduos orgânicos da agroindústria de coco representa uma alternativa na produção de coco (FERRAREZI; FERREIRA-FILHO; TESTEZLAF, 2017).

2.3 UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE COCO NO SISTEMA PRODUTIVO

O fruto do coqueiro é botanicamente definido como uma drupa, apresenta uma única semente e possui como revestimentos o epicarpo, que envolve o mesocarpo, e na porção interior há uma camada espessa e dura denominada de endocarpo, envolvendo o albúmen sólido, que se constitui de uma camada carnosa que forma uma cavidade onde se encontra o albúmen líquido, a água de coco (Figura 1) (FERREIRA; WARNICK; SIQUEIRA, 1998).

Figura 1-Estrutura do fruto do coqueiro



Fonte: EMBRAPA (2016)

O albúmen sólido e líquido são as partes de interesse comercial, e deles derivam a parte carnosa comestível e a água de coco. Outras partes como epicarpo (casca) e mesocarpo (fibras) são geralmente descartados, sobretudo nas faixas litorâneas da região tropical, onde se tem um consumo elevado do coco *in natura* (BRAINER, 2018).

Rosa *et al.* (2001) ressaltam que a cocoinocultura gera em média 70% do lixo depositado no litoral. A cidade de Fortaleza há cerca de dez anos já contribuía com mais de 150 toneladas de cascas de coco verde por dia (OLIVEIRA, 2010). Este resíduo orgânico é constituído de lignina (40%) e celulose (25%), compostos que conferem alto grau de durabilidade e resistência (CABRAL *et al.*, 2017), o que explica também a sua lenta decomposição no solo.

Algumas alternativas de reaproveitamento da casca de coco vêm sendo implementadas, visando diminuir os depósitos nos lixões e no ambiente rural. Nesse sentido, a fibra do coco verde tem se tornado matéria-prima para a produção de vasos, placas e substrato agrícolas, em virtude principalmente do baixo custo e das características físicas desse material, tais como porosidade e capacidade adsorvente (SEBRAE, 2016).

O elevado potencial de adsorção deste resíduo lignocelulósico deve-se aos altos teores de taninos e flavonóides, que são capazes de trocar íons com a solução circundante e assim remover alguns metais do solo (ISRAEL *et al.*, 2011), constituindo assim um recurso de remediação multifuncional (SOUSA *et al.*, 2010).

As fibras da casca de coco verde possuem também nutrientes, podendo contribuir na suplementação nutricional das culturas (ROSA *et al.*, 2002). Esse resíduo tem efeitos como promotor de crescimento das plantas (MALHOTRA *et al.*, 2017). Além disso, as fibras da casca de coco verde apresentam compostos fenólicos e polifenólicos (LOSS *et al.*, 2012), que influenciam na fotoproteção, podendo atuar contra alguns grupos de microorganismos e insetos (OLIVEIRA, 2015).

Amaral (2007) investigou as respostas de bromeliáceas em solo acrescido de fibra da casca de coco verde e constatou a efetividade desse material no aumento da capacidade de retenção de água. Além disso, o autor observou um aumento na colonização micorrízica em plantas crescidas em substrato contendo fibra de coco. Entretanto, as bromeliáceas requerem a suplementação com fertilizantes minerais.

Ainda se tem recomendado o uso da casca de coco como cobertura morta do solo em pomar como forma a reduzir mudanças bruscas de temperatura do solo (MIRANDA *et al.*, 2004),

fato este atribuído a conservação da água próximo a superfície do solo (GASPARIM *et al.*, 2005).

A aplicação de materiais orgânicos ao solo também eleva a disponibilidade de macro e micronutrientes e estimula a atividade microbiológica, além de melhorar as características físicas e químicas do solo (BALOCH; RAJPAN; TALPUR, 2014). Segundo Miranda, Sousa e Crisostomo (2007) a adição do resíduo de casca de coco verde resulta em aumento da concentração de K, Ca, e Mg no solo, mas não influencia o crescimento e a produção do coqueiro anão verde.

De acordo com Queiroga-Neto (2017) quando se trata de crescimento das plantas, somente o substrato da fibra de coco não é suficiente, sendo necessária a combinação com outros fertilizantes. Pesquisadores (RODRIGUES *et al.*, 2016) ressaltam que a salinidade é fator limitante para o uso direto dos resíduos sólidos do coco verde na produção agrícola, além de provocar sintomas de deficiência de nitrogênio nas plantas. Mas, vale salientar que solos acrescidos do resíduo orgânico possuem maior capacidade de troca catiônica (CTC), o que pode reduzir os impactos sobre a salinidade do solo (ITO *et al.*, 2010).

2.4 NEOSSOLOS QUARTZARÊNICO

Neossolos são comuns em regiões litorâneas e no domínio de vegetação do Cerrado, ocupando uma extensão de cerca de 15% da área representativa desse bioma (CAETANO *et al.*, 2013). Esta classe de solo é caracterizada por uma textura arenosa, elevado teor de alumínio (Al) e teores de argila inferiores a 15%. Também se caracteriza por não possuir o horizonte B (EMBRAPA, 2014). Além disso são solos permeáveis, friáveis e pouco coesos que apresentam estrutura deficiente e de baixa fertilidade natural (SOUZA *et al.*, 2017; PIRES; CARMO-JÚNIOR, 2018).

Sabe-se que o solo é um dos principais componentes do sistema produtivo, e deste modo o manejo é fator importante para garantir a sustentabilidade dos agroecossistemas. Nota-se que na conversão de ecossistemas nativos para agrossistemas produtivos há diminuição dos teores de matéria orgânica do solo (PULIDO *et al.*, 2017). Isto leva a sugerir o uso e a incorporação de restos culturais (AWALE *et al.*, 2017). Porém, estes resíduos podem afetar o teor de carbono orgânico (VIAUD *et al.*, 2018), sendo tal efeito comum em Neossolos Quartzarênicos, em decorrência da susceptibilidade a lixiviação de cátions e colóides orgânicos (FRAZÃO *et al.*, 2008). Quando há aplicação de matéria orgânica é esperado um aumento na capacidade de troca catiônica (DIAS; FREITAS; SILVA, 2018). Este fato tem relação com a fertilidade do solo, além da cobertura morta com matéria orgânica atuar no impacto direto das gotas de chuva, evitando perdas de nutrientes por lixiviação no solo (VIEIRA *et al.*, 2018).

2.5 INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

A qualidade do solo (QS) é definida pelo equilíbrio dos fatores físicos, químicos, geológicos, hidrológicos e biológicos do ecossistema de forma que se encontre o equilíbrio para se manter a produtividade e a qualidade ambiental, bem como assegurar a saúde humana (SPOSITO; ZABEL, 2003). O funcionamento de um solo pode ser avaliado pelos seus atributos físicos, químicos e biológicos (VIAUD *et al.*, 2018).

Para QS ser eficiente e refletir o funcionamento de um ecossistema é necessário que o mesmo obedeça a alguns critérios, como forma de: integrar propriedades físicas, químicas e biológicas do solo; identificar as formas de perturbações do ecossistema e ser acessível economicamente, além de propiciar sua mensuração das condições de campo (RABOT *et al.*, 2017; WIESMEIER *et al.*, 2019).

A seleção de indicadores do solo deve ter como base: biologia das espécies vegetais presentes e seu desempenho e importância agrônômica, tipo de solo, aspectos socioeconômicos, manejo e clima da região (LISBÔA *et al.*, 2016; BUNNEMAN *et al.*, 2018).

De modo geral, os indicadores de qualidade do solo investigam mudanças que ocorrem na estrutura do solo, e estes são importantes para mensurar a qualidade da matéria orgânica do solo e as reservas de carbono e nitrogênio (DUVAL *et al.*, 2018), e cujas alterações podem influenciar a produtividade das culturas (SPOHN *et al.*, 2016). No entanto, as alterações no estoque de matéria orgânica são influenciadas pelas propriedades do solo e pelas práticas agrícolas adotadas na recuperação e na correção do solo (AWALE *et al.*, 2017).

Uma das alternativas para avaliar a matéria orgânica de um solo seria pela observação de mudanças nas frações de carbono e nitrogênio, que são sensíveis e facilmente alterados pelas condições ambientais (CHI *et al.*, 2017). O estoque de carbono representa uma medida fundamental para quantificar as funções do solo, além de ser indicada pela capacidade de identificar alterações em curto espaço de tempo (WIESMEIER *et al.*, 2019).

Índices de QS também podem ser combinados de acordo com os resultados almejados, e nenhuma propriedade deve ser usada de forma isolada como índice de qualidade. O solo é ente vivo e os processos e componentes estão funcionalmente integrados. Tem-se na combinação dos índices de natureza física respostas sobre o estado de agregação e compactação do solo e a capacidade de infiltração de água, enquanto os indicadores químicos possibilitam estimar a disponibilidade de nutrientes, e os de natureza biológica permitem mensurar a atividade da

microbiota viva no solo (CAMARGO, 2016).

Os índices de QS podem ser divididos em três grupos: (1) indicadores efêmeros, onde as alterações são decorrentes das práticas de cultivo e ocorrem em um curto espaço de tempo, tais como: densidade, pH, umidade, disponibilidade de nutrientes; (2) os indicadores permanentes, que referem-se ao aspectos de textura, profundidade, camadas restritivas, mineralogia; e por fim, (3) os indicadores intermediários, indicando a capacidade do solo em desempenhar funções, como agregação, biomassa microbiana, quociente respiratório e carbono orgânico total do solo (SPOSITO; ZABEL, 2003).

Os índices de qualidade do solo têm sido úteis na indicação de práticas de manejo mais sustentáveis e na avaliação de agrossistemas produtivos (RAIESI; KABIRI, 2016). Nesse sentido, Salton e Tomazi (2014) consideram índices de QS para mensurar a capacidade do solo em oferecer estrutura que permita bom fluxo de água, aeração, resistência à erosão e condições para o desenvolvimento da microbiota ativa.

Dentre as alternativas de conservação e manutenção de QS tem se destacado a utilização de coberturas com restos vegetais (FORTE *et al.*, 2018), sendo que a adição de matéria orgânica eleva os teores de N, P e K disponíveis no solo, além de reduzir o fracionamento de agregados, contribuindo para a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas e reduzindo sua taxa de degradação (KAPPES; ARF; ANDRADE, 2013).

A utilização de cobertura vegetal contribui ainda, segundo Fávoro *et al.* (2018), na regulação do fluxo de água, na manutenção da relação entre porosidade total e no volume de sólidos e na diminuição do índice de compactação do solo (MARTINS; GONÇALVES; SILVA JÚNIOR, 2016). As coberturas vegetais também contribuem para a manutenção ou aumento da atividade da microbiota, além de proporcionar uma redução na ocorrência de plantas invasoras e pragas das culturas (SANTOS *et al.*, 2016).

2.5.1 Carbono e Nitrogênio

A fração orgânica de um solo exerce acentuada influência nas propriedades físicas, químicas e biológicas, e por conseguinte afeta o funcionamento dos ecossistemas e a atividade da microbiota do solo. Essa fração da matéria orgânica (MO) é formada pela decomposição de resíduos animais e vegetais (BRADY; WEIL, 2013), e serve como indicador de qualidade devido a sua sensibilidade frente às práticas de manejo das culturas (CHERUBIN *et al.*, 2015).

A MO é fonte de nutrientes como N, P e S, e influencia na melhoria da retenção de

água e de características físicas como densidade, porosidade e agregação, além de atuar na diminuição de processos erosivos no solo e no aumento da capacidade de troca catiônica (AWALE *et al.*, 2017; SINGH; GUPTA, 2018; JENSEN *et al.*, 2019).

Singh e Gupta (2018) ressaltaram ainda a importância da MO na manutenção da diversidade de organismos dentro do ecossistema solo, o que por consequência implica na produção de novos compostos que podem aumentar a capacidade produtiva das espécies vegetais.

Em virtude da matéria orgânica ser heterogênea, o carbono pode ter funções variadas (LEITE *et al.*, 2015). A fração lábil de MO tem relação com o manejo do solo e a decomposição dos resíduos orgânicos (AWARLE *et al.*, 2017). Essas formas mais lábeis incluem compostos decomponíveis de vegetais e animais em decomposição, a macrofauna edáfica e a biomassa microbiana, enquanto a forma estável e resiliente inclui as substâncias húmicas (SOUZA *et al.*, 2016). As práticas adotadas podem levar a diminuição da disponibilidade de carbono, resultando em perdas de 25 a 50% durante um ano (TANG *et al.*, 2019). Essas perdas estão relacionadas com a erosão, a prática de revolvimento do solo, a redução da frequência de aplicação de coberturas orgânicas e os processos de oxidação do carbono pela microbiota do solo (MENDES *et al.*, 2006).

A reserva de carbono orgânico é comumente maior na camada superficial do solo (LIANG *et al.*, 2017) e sua manutenção depende da diminuição de distúrbios mecânicos e da qualidade dos insumos aplicados, visando evitar a erosão e garantir a reposição de nutrientes às plantas (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Os elementos N e C participam de inúmeras reações bioquímicas do solo. A proporção desse nutriente é dependente do conteúdo de carbono, e o equilíbrio dessa relação entre os elementos é importante para o fornecimento de energia à biomassa microbiana, que participa do armazenamento, da ciclagem de nutrientes e da melhoria das propriedades do solo (IWATA, 2010). Os nutrientes C e N são catalisados pela microbiota, e sua disponibilidade é função da biomassa decompositora de substratos orgânicos (SPOHN *et al.*, 2015). A utilização de N pela biomassa microbiana depende naturalmente da disponibilidade de MO e da relação C:N dessa matéria. Vale notar que a relação C:N influencia a velocidade com que vai ocorrer a decomposição do material residual pela microbiota edáfica do solo (BUCHKOWSKI *et al.*, 2015).

2.5.2 Indicadores físico-químicos

Indicadores químicos devem ser sensíveis às alterações no manejo e refletir na capacidade produtiva do solo. Os atributos químicos têm relação direta com a nutrição das plantas

e indicam a qualidade dos processos que regem o funcionamento do solo, tais como: matéria orgânica, índice de pH, concentração de Al^{3+} , teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , P, N e de micronutrientes (LOPES, 1998).

A capacidade de troca de cátions (CTC) indica a capacidade do solo em reter cátions na superfície dos colóides, a exemplo de (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , H^+ e Al^{3+}). Solo com maior CTC indica maior capacidade em fornecer cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) às plantas, enquanto a retenção de H^+ e Al^{3+} é indicativo da necessidade de corrigir o solo em questão. Segundo Lana *et al.* (2017) os fertilizantes naturais, como os adubos orgânicos, influenciam também na CTC dos solos.

A absorção de nutrientes pelas plantas é naturalmente influenciada por fatores como acidez (pH) e o equilíbrio de minerais trocáveis, tais como os óxidos de Al^{3+} e Fe^{2+} que possuem afinidade pela matéria orgânica do solo, e portanto, atuam como promotores de armazenamento do carbono orgânico no solo (WIESMEIER *et al.*, 2019). Outros cátions trocáveis como Ca^{2+} , Mg^{2+} também exercem influência na disponibilidade de carbono orgânico (KAISER *et al.*, 2012).

A porcentagem de saturação do solo por bases (V) também é um critério usado na definição da qualidade do solo. Segundo Ronquim (2010), a saturação por bases maior ou igual a 50% é indicativa de solo rico em nutrientes, sobretudo em cálcio.

2.5.3 Indicadores biológicos

Os microrganismos exercem naturalmente funções importantes na ciclagem e na disponibilidade de nutrientes do solo. Entre os organismos que fazem parte da biota do solo, as bactérias representam um importante grupo, em razão dos altos valores de biomassa e do metabolismo mais intenso que possuem, o que interfere na decomposição da matéria orgânica (SOUTO *et al.*, 2008) e na ciclagem biogeoquímica de elementos químicos do solo (GOBERNA *et al.*, 2005).

As bactérias são consideradas indicadoras por estabelecerem relações com as propriedades físicas e químicas do solo, e pela sensibilidade às alterações de umidade, suprimento de oxigênio, temperatura e quantidade e natureza do substrato adicionado ao solo. A atividade das bactérias e outros organismos é maior nas camadas superficiais do solo (CAPUANI *et al.*, 2012).

Por sua vez, os fungos variam bastante em tamanho, desde leveduras até cogumelos, se sobressaem na utilização do carbono contribuindo com a biomassa orgânica do solo, especialmente em solos de pH baixo (FREIXO *et al.*, 2000), quando são comparados às bactérias do solo (MORAVEC *et al.*, 2014). O interesse na dinâmica de comunidades de fungos simbióticos

está na sua importância ecológica, sendo os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) reconhecidos como componentes integrais e fundamentais na estabilidade dos fatores que condicionam o solo (FONSECA, 2006) e na estabilidade de ecossistemas. Esses fungos simbiotes estão presentes nos mais variados tipos de solo e se associam a grande maioria das plantas, contribuindo para o aumento de tolerância das plantas aos estresses biótico e abiótico e auxiliando na absorção de água e nutrientes, sobretudo P, Fe e Zn (KLAUBERG-FILHO; SIQUEIRA; MOREIRA, 2002).

Cordeiro *et al.* (2005) destacam que estes fungos de solo formam um micélio interno e externo às raízes das plantas, e as estruturas fúngicas são capazes de alterar a dinâmica do carbono e a agregação de partículas do solo. Os FMA são capazes de produzir uma glicoproteína chamada gomalina, que segundo Fokom *et al.* (2012) contribui para a estabilidade de agregados e no armazenamento de C e N do solo, funcionando como indicativo de distúrbios ecológicos no ciclo desses elementos.

A funcionalidade e a diversidade de FMA do solo é afetada pelas condições ambientais, como temperatura, umidade, matéria orgânica, pH e disponibilidade de nutrientes como N e P. Além disso, outros fatores como a cobertura vegetal do solo, o tipo e a frequência de adubações adotadas, os sistemas de monocultura e o uso de fertilizantes e agroquímicos podem influenciar na diversidade e nos potencial dessas comunidades em contribuir com o crescimento das plantas (CARNEIRO *et al.*, 2016).

Para Torres *et al.* (2016), a utilização de microrganismos como indicadores deve-se ao fato destes apresentarem sensibilidade às alterações no manejo, ocasionando alterações diretas nas propriedades físicas e químicas do solo. As comunidades microbiológicas do solo influenciam diretamente no suprimento de carbono orgânico, contribuindo com cerca de 80% das transformações que ocorrem na fração orgânica (LIANG; BALSER, 2011), o que evidencia a importância da manutenção de microbiota do solo.

A biomassa microbiana do solo (BMS) vem sendo adotada como uma medida de qualidade, e está relacionada com as transformações da matéria orgânica do solo. Os fungos e bactérias exercem funções dependentes de fluxos de C e N na estrutura do solo, como o processo de decomposição, o que por consequência determinam a disponibilidade de outros elementos que afetam o crescimento das plantas (SMITH *et al.*, 2018). Hoffmann *et al.* (2018) destacam que a biomassa microbiana é um indicador sensível às mudanças no manejo do solo e aos tratos culturais, pelo fato dos microrganismos estabelecerem relação com processos que afetam o ecossistema e

que estão intimamente relacionados com a fertilidade do solo.

A BMS vem sendo considerada como índice de qualidade, e sua avaliação pode ser comprometida se feita de forma isolada. A atividade da microbiota edáfica é alterada em decorrência de fatores relacionados a temperatura, umidade, pH, variações sazonais, rotação de culturas e a textura do solo, constituindo-se assim um indicador de ordem quantitativa para mensurar variações relativas às mudanças no manejo, processos de regeneração e devastação de áreas (ZILLI *et al.*, 2003). Já, a respiração do solo (RBS) é uma medida de qualidade que reflete a taxa de degradação de compostos orgânicos pela microbiota do solo (LOPES, 2001).

Silva *et al.* (2013) pontuam que fatores como umidade, temperatura, textura do solo, estado fisiológico das células microbianas e a quantidade de matéria orgânica influenciam nos índices de RBS. Já com relação aos indicativos de RBS, o CO₂ é o principal índice de atividade biológica que está relacionado com a degradação da matéria orgânica do solo, podendo indicar o estado da atividade da microbiota e a geração de nutrientes pela decomposição da MO do solo (PRAGANA *et al.*, 2006).

Contudo, outros pesquisadores (ISLAM; WEIL, 2000) enfatizam que altas taxas de respiração edáfica não necessariamente indicam qualidade do solo. A oxidação de carbono pode refletir no estresse com a consequente perda do carbono orgânico do solo para a atmosfera. Nesse sentido vale notar o quociente metabólico (qCO_2) que expressa a quantidade de C-CO₂ liberada pela biomassa em função do tempo, dando indicação da estabilidade do ecossistema solo (DE-POLLI; GUERRA, 1997). Elevados valores de qCO_2 podem ser relacionados com o estresse, onde as comunidades microbianas usam o carbono nas suas funções metabólicas, enquanto menores valores desse índice indicam solos mais estáveis (ISLAM; WEIL, 2000). Khan e Scullion (2000) sugerem que este índice também não deve ser usado de forma isolada, necessitando da combinação de outras medidas de qualidade biológica do solo.

Já o quociente microbiano ($qMic$) relaciona o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico do solo (WARDLE, 1994). Essa medida indica mudanças nas propriedades biológicas e na qualidade da matéria orgânica, e a eficiência da microbiota edáfica na utilização dos compostos orgânicos do solo (SILVA *et al.*, 2010). Níveis elevados de $qMic$ são observados em solos com propriedades mais equilibradas, enquanto situações de estresse e deficiência de nutrientes e acidez do solo levam a diminuição dos níveis de $qMic$, indicando baixa qualidade da

MO do solo (MENDES *et al.*, 2011).

Ambos os coeficientes qCO_2 e $qMic$ variam com o manejo das culturas. Os pesquisadores Tótola e Chaer (2002) observaram valores $qMic$ superiores em sistema com rotação de culturas, comparados ao solo de monocultura. Baixo nível de adubação e a qualidade da MO do solo igualmente promovem alterações nos valores dos coeficientes $qMic$ e qCO_2 (SILVA *et al.*, 2010).

Nesse sentido, faz-se necessário a utilização de vários indicadores de qualidade que sejam sensíveis ao manejo e que permitam a identificação de alterações em tempoadequado de modo que reflitam e quantifiquem alterações nos atributos do solo, no sentido de fornecer subsídios para o emprego de tecnologias e técnicas de produção adequadas, contribuindo assim para tornar o solo menos susceptível à perda de sua capacidade produtiva (LIMA *et al.*, 2008).

3 OBJETIVOS

3.1 GERAL

Avaliar a decomposição da casca de coco verde triturada e os seus efeitos sobre atributos químicos e biológicos de qualidade do solo no litoral do Nordeste brasileiro;

3.2 ESPECÍFICOS

Avaliar a decomposição da casca de coco verde triturada nas entrelinhas do coqueiro anão;

Caracterizar os atributos químicos e biológicos de qualidade do solo em função da aplicação de casca de coco verde triturada nas entrelinhas do coqueiro anão;

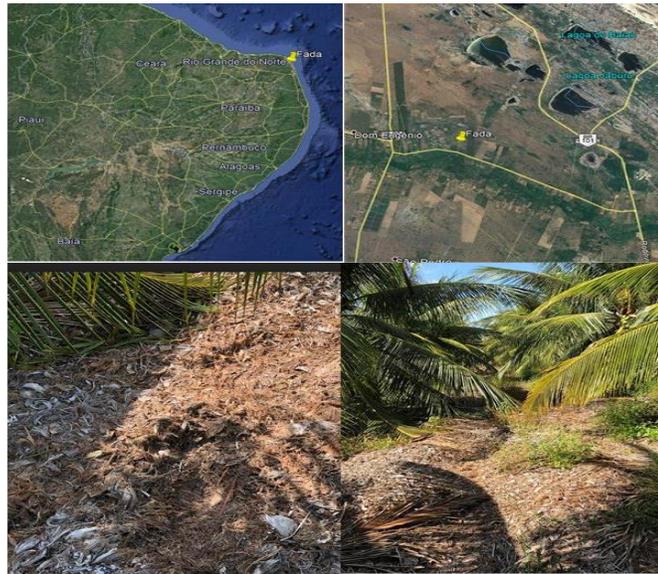
Caracterizar o solo quanto a diversidade de ocorrência dos fungos micorrízicos arbusculares em função da aplicação de casca de coco verde triturada nas entrelinhas do coqueiro anão;

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCAL E ÁREA DE ESTUDO

A presente pesquisa foi conduzida em área de pomar com coqueiros anões irrigados, após aplicação de casca de coco verde triturada, na fazenda Fada localizada ao lado da RN 263 (coordenadas 5° 27' 34" S, 35° 22' 7" O) (Figura 2), no município de Maxaranguape, Rio Grande do Norte (Brasil) e gerenciada pela empresa de envsamento de água de coco, Aquacoco.

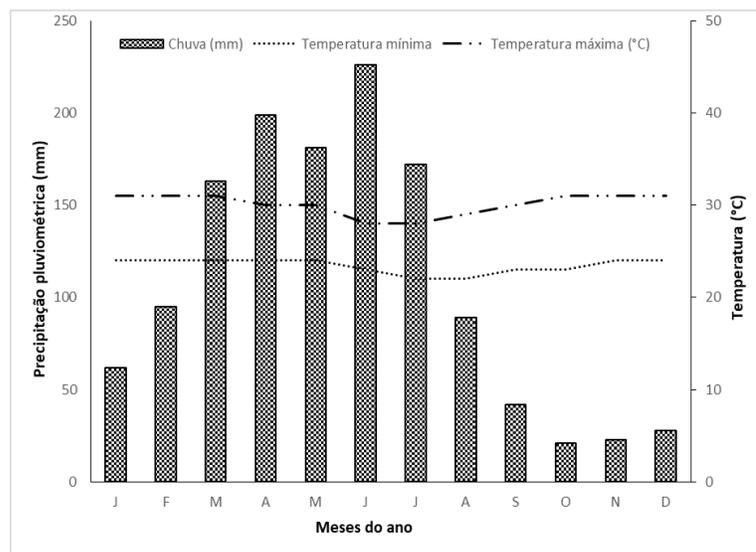
Figura 2-Imagem da localização e cobertura do solo em pomar de coqueiro anão em Maxaranguape, RN (Brasil).



Fonte: Imagens do Google Earth e fotos da cobertura do solo nas entrelinhas de coqueiros anões da fazenda Fada, em Maxaranguape (RN). Elaborado pelo autor.

O clima da região de estudo, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo As, caracterizado como tropical com verão seco (ALVARES *et al.*, 2014), com temperatura do ar entre 25 e 30 °C e regime pluviométrico em torno de 1.300 mm ano⁻¹ (Figura 3).

Figura 3-Valores médios de temperatura do ar e de precipitação pluviométrica no município de Maxaranguape-RN.



Fonte: Dados obtidos em Clima e Tempo (2019).

Na formação do pomar de coqueiros (2011-2012), adotou-se o plantio num espaçamento triangular de 7,5 m por 7,5 m ($205 \text{ plantas ha}^{-1}$), usando um terreno quase plano ($< 2\%$ de declive). Posteriormente, na avaliação de atributos do solo (Fevereiro de 2019), foi aberta uma trincheira (UTM 0237444, $9395956 \pm 3 \text{ m}$), para sua classificação e a caracterização dos horizontes até 2 m de profundidade.

4.2 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

A área do pomar em estudo recebeu a casca de coco verde triturada, em quatro diferentes períodos (72, 36, 12 meses, e resíduo recente). A aplicação desse resíduo orgânico sempre ocorreu nas entrelinhas dos coqueiros, mantendo-se livre uma faixa lateral (cerca de 1 m) dos coqueiros. Todas as aplicações ocorreram em dose única no pomar de coqueiros. O resíduo utilizado foi obtido na empresa AquaCoco, em que as áreas de produção estão localizadas no entorno da fábrica (Figura 4). As aplicações de casca de coco triturada foram equivalentes a 100 toneladas de resíduo seco por hectare, e os tratamentos podem ser observados na Tabela 1.

Figura 4-Disposição da casca de coco verde triturada nas áreas de produção da Fazenda Fada em Maxaranguape-RN



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 1-Descrição dos tratamentos avaliados na Fazenda Fada em Maxaranguape- RN

Tratamentos	Descrição
T1	Área com plantas de 72 meses de idade e igual tempo de aplicação da casca de coco verde triturada.
T2	Área com plantas de 36 meses de idade e igual tempo de aplicação da casca de coco verde triturada.
T3	Área com plantas 12 meses de idade e igual tempo de aplicação da casca de coco verde triturada.
T4	Área com 1 mês de aplicação do resíduo e igual tempo de aplicação da casca de coco verde triturada.
T5	Área com plantas de 72 meses de idade, sem aplicação da casca de coco verde triturada.

Fonte: elaborada pela autora.

O delineamento experimental era formado por seis blocos distribuídos ao acaso. Em todos os blocos os coqueiros foram fertirrigados, usando-se dois aspersores por planta e fornecendo-se durante o período noturno e em época mais seca até 250-300 L dia⁻¹ de água do subsolo, captada diretamente em poço da fazenda. As fertilizações com NPK atenderam as

recomendações para se obter-se alta produtividade (40-50 mil frutos ha⁻¹) (SOBRAL *et al.*, 2009). Além da fertirrigação, as plantas também receberam adubo orgânico sob a projeção das copas, semestralmente, cerca de 40 L planta⁻¹ de esterco de ovinos obtido na região. Tal adubação permitiu obter uma produção superior a 300 cocos planta⁻¹ ano⁻¹ (Figura 5), segundo a empresa AquaCoco.

Figura 5-Plântulas de coqueiro verde-anão e frutos



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3 AMOSTRAGEM E ANÁLISE DO RESÍDUO APLICADO AO SOLO

Para cada tratamento (Tabela 2) foram selecionadas seis subáreas, representado as repetições. Nas subáreas foi coletado o material residual da casca de coco, usando-se sempre um arco de 0,132 metros quadrados. Isto permitiu estimar a biomassa do resíduo seco residual (kg m⁻²) no pomar. Essas amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Solos da Embrapa Agroindústria Tropical, em Fortaleza-CE, onde uma porção de cada amostra do resíduo foi seco em estufa a 65 °C, triturado em moinho tipo Wiley e passado em peneira de 2 mm abertura de malhas, para posterior análise de carbono e nutrientes minerais.

Fração do resíduo de casca de coco triturado foi usado na determinação do carbono orgânico total (COT), seguindo-se a metodologia descrita por Yeomans e Bremner (1988) com algumas adaptações. Foram pesados 0,05 g do resíduo vegetal previamente macerado e triturado, adicionados de 20 mL de dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇) em tubos de digestão. Em seguida, as amostras foram transferidas para tubos de digestão, adicionando-se 10 mL de ácido sulfúrico, e os tubos foram levados ao bloco digestor, por 30 minutos a uma temperatura entre 150 e 170 °C. Posteriormente, o conteúdo dos tubos foi transferido para Erlemeyer de 250 mL, onde foram

adicionados 100 mL de água destilada e 5 mL de ácido ortofosfórico concentrado e 3 gotas do indicador difenilamina, para sua titulação com solução de sulfato ferroso amoniacal. O teor de COT foi estimado pela equação descrita por Cantarella, Quaggio e Raij (2001).

Para a determinação do N do resíduo utilizou-se o método Dumas (DUMAS NITROGEN ANALYZER), conforme Ribeiro (2010). Essa metodologia é baseada no princípio da combustão, redução, separação e detecção, sendo o controle feito no computador, usando-se DUMAS Soft™, o que otimizou a obtenção dos resultados. Para cada análise foram utilizados 50 mg do resíduo previamente seco e triturado. Os valores foram expressos em N kg⁻¹ de resíduo seco.

Os teores de macronutrientes (P, K, Ca, Mg, Na e S) e micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) foram determinados a partir de extratos digeridos em solução ácida nítrico-perclórica (3:1 v/v), e sua dosagem foi feita no espectrômetro de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), conforme a metodologia de Silva (2009). Para esta análise foram pesados 0,5 g do resíduo, acrescidas alíquotas de 8 mL da solução extratora (HClO₄+HNO₃) e posteriormente levadas ao bloco digestor regulado na temperatura de 200 °C para digestão por cerca de 5 horas. Após a digestão e o resfriamento dos tubos, os extratos foram acrescidos de 50 mL de água deionizada, e em seguida passadas em papel filtro quantitativo de faixa azul e quantificação e leitura no plasma.

4.4 AMOSTRAGEM DO SOLO

As amostras de solo foram coletadas também nas entrelinhas dos coqueiros em todos os tratamentos (Tabela 2), retirando-se solo numa profundidade de 0-10 cm de profundidade. Essas coletas foram feitas com auxílio de trado em 6 ou mais pontos diferentes dentro das subáreas, para se obter amostras compostas do solo. Após a coleta, frações das amostras de solo foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm, para posterior análise de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e outros elementos. Outras frações de amostras do solo úmido foram conservadas em geladeira (± 5 °C), para as análises microbiológicas e a determinação da biomassa microbiana do solo.

4.4.1 Análises químicas do solo

A acidez (pH em H₂O) e acidez potencial (H⁺Al³⁺) foram determinados conforme Silva (2009). O carbono orgânico do solo foi determinado pelo método de oxidação com dicromato por via úmida, seguindo Walkley e Black (1934) e adaptações feitas por Silva (2009). A quantidade de

carbono orgânico foi calculada com base no volume da solução de Sal de Mohr gasto na titulação da amostra de acordo com a equação 1 (EMBRAPA, 1997).

$$\text{CO (g C kg}^{-1} \text{ solo)} = \frac{(V_b - V_a) \cdot C_{\text{Fe}^{2+}} \cdot 0,003 \cdot 1000}{0,5}$$

Onde:

CO= Carbono orgânico;

V_b = volume gasto na titulação do branco;

V_a = volume gasto na titulação da amostra;

$C_{\text{Fe}^{2+}} = 10 \cdot 0,167 \cdot 6 (V_b)^{-1}$

0,003= massa equivalente do carbono (massa atômica/valência);

100= fator de conversão de unidade;

0,5= peso da amostra (g);

Os métodos analíticos adotados na determinação dos teores de macro e micronutrientes foram descritos por Silva (2009), onde, as amostras de solo passaram por uma extração em Mehlich-1 para a determinação dos teores de K, Na, Fe, Mn e Zn, enquanto para extrair Ca e Mg do solo utilizou-se de extrator contendo solução de KCl 1 molar. O teor de N do solo foi determinado pelo método Dumas (RIBEIRO, 2010), usando-se 400 mg de solo. Os valores de N foram expressos em g kg⁻¹ de solo.

4.4.2 Análises biológicas do solo

O carbono da biomassa microbiana do solo foi determinado pelo método da fumigação e extração (DE-POLLI e GUERRA, 1997). Foram usadas frações de 20 g das amostras de solo, em quadruplicata, ajustando-se sua umidade em 65% da capacidade máxima de retenção de água. Duas porções das amostras foram fumigadas com clorofórmio livre de álcool e outras duas porções permanecerem sem fumigação. Essas amostras foram colocadas em Erlenmeyer de 125 mL onde receberam 80 mL da solução de sulfato de potássio (K₂SO₄) a 0,5 M. Posteriormente, as amostras foram levadas para agitador com movimento circular horizontal à 220 rpm por 30 minutos. Em sequência ao descanso de 30 minutos, a suspensão do sobrenadante foi passado por filtro quantitativo lento de faixa azul. Alíquotas de 8 mL do filtrado foi colocado em tubos para digestão adicionando-se 2 mL de dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇) a 0,066 M.

Em seguida os tubos receberam 10 mL de ácido sulfúrico concentrado e 5 mL de ácido ortofosfórico concentrado e, então, foram colocados em chapa previamente aquecida a 150 °C por

cerca de 5 minutos. Após o resfriamento dos tubos, cada extrato era transferido para Erlenmeyer de 125 mL, tendo-se o cuidado de lavar cada tudo com 50 mL de água destilada. Após isso, foram adicionadas 3 gotas do indicador difenilamina, para a titulação do extrato com solução de sulfato ferroso amoniacal ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) a 0,033 M. Foram usadas quatro amostras sem solo (ensaio em branco). Os teores de carbono presente na biomassa microbiana foram calculados de acordo com a equações II e III (MENDONÇA; MATOS, 2005).

$$C \text{ (g C kg}^{-1} \text{ solo)} = \frac{(V_a - V_b) \cdot (M_{\text{Sulfato Ferroso Amoniacal}}) \cdot (3) \cdot (1000) \cdot (V_{\text{extrator}})}{(V_{\text{extrato}}) \cdot (Ps)}$$

Em que:

C= carbono extraído do solo;

V_b (mL)= volume do sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da solução controle (branco);

V_a (mL)= volume do sulfato ferroso amoniacal gasto na amostra;

M= molaridade exata do sulfato ferroso amoniacal;

3= massa equivalente do carbono (massa atômica/valência);

1000= fator de conversão de unidade;

V_{extrator} = volume do extrator (K_2SO_4) utilizado;

V_{extrato} = alíquota do extrato utilizado para titulação;

Ps= massa de solo seco;

$$\text{CBM} = (\text{CF} - \text{C NF}) / \text{Kc}$$

Onde:

CBM= Carbono presente na biomassa microbiana ($\mu\text{g C g}^{-1}$ solo);

CF= Carbono presente na amostra fumigada;

C NF= Carbono presente na amostra não fumigada;

Kc= fator de conversão;

Os teores de carbono da biomassa microbiana permitiram ainda calcular-se o quociente microbiano (q_{Mic}) do solo, seguindo-se Sparling (1992), relacionando-se o carbono da biomassa com o carbono orgânico total (CBM/COT).

A respiração basal do solo (RBS) foi estimada conforme Silva *et al.* (2007). Amostras de 50 g de solo com 65% da capacidade de retenção de água foram colocadas em Becker ao lado de frascos contendo apenas hidróxido de sódio a 0,5 M, dentro de jarros de vidro (capacidade para 2 L), hermeticamente fechados. Estes jarros foram mantidos no escuro, a temperatura ambiente, por dez dias. Após este período de incubação, a solução básica foi transferida para Erlenmeyer de 125 mL, onde se adicionou 10 mL de cloreto de bário a 0,05 M e algumas gotas do indicador fenolftaleína, para sua titulação com solução de ácido clorídrico a 0,25 M.

O valor de C-CO₂, produzido nas amostras foi expresso em mg CO₂ g⁻¹ de solo por hora seguindo a equação IV, descrita por Jenkinson e Powlson (1976).

$$\text{RBS } (\mu\text{g de C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ solo dia}^{-1}) = (((V_b - V_a) \cdot M \cdot 6 \cdot 1000) / P_s / T$$

Em que:

RBS= respiração basal do solo;

V_b (mL)= volume gasto na titulação do branco;

V_a (mL)= volume gasto na titulação da amostra;

M= molaridade exata do HCl;

P_s (g)= massa de solo seco;

T= tempo de incubação da amostra em dias;

A taxa respirométrica do solo permitiu ainda calcular-se o quociente metabólico (qCO₂), conforme Silva, Azevedo e De-Polli (2007) e o qMin (RASID *et al.*, 2016).

$$q\text{CO}_2 \text{ (mg C-CO}_2^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ CBM h}^{-1}) = \frac{\text{RBS (mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ solo h}^{-1})}{\text{CBM } (\mu\text{g C. g}^{-1} \text{ solo). } 10^{-3}}$$

Onde:

qCO₂= quociente metabólico do solo;

RBS= respiração basal do solo;

CBM= carbono da biomassa microbiana;

$$\text{QMin (\%)} = \text{RBS TOC}^{-1}$$

4.4.3 Extração dos esporos de FMA

As amostras de 25 grama do solo foram usadas para extração de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, usando-se o peneiramento úmido (conjunto de peneiras com decréscimo de abertura de malhas até 0,053 μm), seguido da centrifugação a 2000 rpm, em gradiente de sacarose. Após este procedimento, a suspensão foi vertida em placa para a contagem e a separação de morfotipos de esporos de FMA sob estereomicroscópio (até 100X), para a contagem e a separação de esporos de FMA do solo (SIEVERDING, 1991). Esporos representativos dos morfotipos de FMA foram montados em lâminas de vidro, usando como fixador PVLG (álcool-polivinílicolactoglicerol) e PVLG + Melzer, para facilitar a identificação das espécies fúngicas, para a identificação de espécies, seguindo-se INVAM e as descrições de espécies fúngicas.

Para os morfotipos de esporos de FMA foram calculados a Abundância, que mede a porcentagem de esporos por espécie na amostra, e a Frequência relativa indica a frequência de ocorrência de cada espécie, pelas fórmulas VI e VII, respectivamente.

$$\text{AR} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de esporos da espécie (gênero)}}{\text{n}^\circ \text{ total de esporos da amostra}} \times 100\%$$

$$\text{FR} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de áreas onde a espécie ocorre}}{\text{n}^\circ \text{ total de áreas avaliadas}} \times 100\%$$

4.4 ANÁLISES DE DADOS

Os atributos do resíduo de casca de coco remanescente e do solo foram respectivamente submetidos à análise de variância, considerando-se os delineamentos em blocos casualizados, sendo as médias dos tratamentos sempre comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Todas as análises foram realizadas no módulo PROC GLM (procedimento de modelos lineares gerais) do software de análise estatística - SAS, versão 9.3 (SAS Institute Inc.). As informações das unidades amostrais foram também submetidas a um conjunto único e submetidas à análise de Cluster (agrupamento), onde o método utilizado foi o aglomerativo hierárquico. Pela análise, foram selecionadas as variáveis químicas e biológicas do solo e resíduo com maior poder de separação de grupos.

5 RESULTADOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL DO SOLO

O pomar com coqueiros anões foi implantado em solo de tabuleiro, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação trata-se de Neossolo Quartzarênico Órtico típico com textura muito arenosa, e algumas de suas características morfológicas, químicas e biológicas podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2-Descrição morfológica de horizontes e aspectos granulométricos, químicos e biológicos do Neossolo Quartzarênico Órtico típico sob cultivo do coqueiro

Horizonte	undidade (cm)	Descrição morfológica								
		Coloração de Munsell	Observação							
Ap1	0 – 9	Bruno forte (7,5YR 4/6)	Areia, não plástica e não pegajosa, transição plana e clara.							
Ap2	9 – 17	Bruno-amarelado (10YR 5/6)	Areia, não plástica e não pegajosa, transição plana e gradual.							
Ap3	17 – 42	Bruno-amarelado (10YR 5/8)	Areia, não plástica e não pegajosa, transição plana e gradual.							
C1	42 – 83	Bruno-forte (7,5YR 5/8)	Areia, não plástica e não pegajosa, transição plana e difusa.							
C2	83 – 139	Bruno-forte (7,5YR 5/8)	Areia-franca, não plástica e não pegajosa, transição plana e difusa.							
C3	139 – 200+	Bruno-forte (7,5YR 5/8)	Areia-franca, não plástica e não pegajosa.							
Granulometria (g kg ⁻¹)										
		Areia	Silte	Argila						
Ap1	0 – 9	940	26	34						
Ap2	9 – 17	941	21	38						
Ap3	17 – 42	922	13	66						
C1	42 – 83	908	22	70						
C2	83 – 139	888	29	83						
C3	139 – 200+	865	28	107						
		Complexo sortivo (cmol _c kg ⁻¹)								
		pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ Al ³⁺	CE (dSm ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	MO (g kg ⁻¹)
Ap1	0 – 9	6,6	0,93	0,67	0,02	0,00	0,66	0,25	4	9
Ap2	9 – 17	7,1	0,93	0,67	0,02	0,00	0,00	0,14	2	4
Ap3	17 – 42	6,5	0,62	0,46	0,01	0,00	0,50	0,12	1	2
C1	42 – 83	5,6	0,28	0,22	0,01	0,00	0,99	0,14	2	2
C2	83 – 139	5,6	0,09	0,09	0,01	0,00	0,83	0,06	2	3
C3	139 – 200+	5,4	0,07	0,08	0,01	0,00	0,66	0,12	7	2
		Respiração edáfica (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ dia ⁻¹)		Fungos MA (Esporos 50 g ⁻¹ solo)			Raízes *			
Ap1	0 – 9	11.53		76			Presença comum de raízes finas			
Ap2	9 – 17	10.69		38			Comum raízes finas e médias			
Ap3	17 – 42	7.54		8			Poucas médias e raras grossas			
C1	42 – 83	4.79		4			Poucas médias e raras grossas			
C2	83 – 139	4.81		Não detectados			Raras médias e raras grossas			
C3	139 – 200+	4.73		Não detectados			Raras médias e raras grossas			

Nota: pH= acidez ativa, Ca²⁺= cálcio trocável, Mg²⁺= magnésio trocável, K⁺= potássio trocável, Na⁺= sódio trocável, Al³⁺+H⁺= acidez potencial, CE= condutividade elétrica, P= fósforo e MO= matéria orgânica.

Vale notar que o solo em questão possuía estrutura arenosa ($A_p > 92\%$ de areia; $C > 86\%$ de areia), baixos teores de matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes minerais. É um sedimento Areno-Argiloso do Terciário-Quaternário e formação Barreiras. Em horizontes superficiais (A_p) detectou-se baixos teores de P assimilável e K disponível, o que podia ser esperado para essa classe de solo. Por sua vez, no horizonte C detectou-se o caráter ligeiramente ácido ($pH = 6,5$ a $5,4$), corroborando a presença de acidez potencial maior nos horizontes C1 e C2 ($0,99$ e $0,83$ $cmolc\ kg^{-1}$). A atividade biológica, medida pela atividade respirométrica e a presença de raízes finas (Figura 6) e esporos de fungos micorrízicos arbusculares, igualmente decresceu ao longo do perfil, o que já era esperado.

Figura 6- Presença de raízes finas do coqueiro abaixo da camada de casca de coco verde triturada sob o solo



Fonte: Elaborada pelo autor.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO ORGÂNICO APLICADO NO SOLO

A casca de coco verde triturada foi aplicado em uma dose equivalente a $100\ t\ ha^{-1}$ nas entrelinhas dos coqueiros (Tabela 3), e suas características foram alteradas ao longo do período (72 meses) no pomar.

Tabela 3- Biomassa, teores de nutrientes e relações de alguns nutrientes no resíduo de casca de coco verde aplicado nas entrelinhas de coqueiro verde anão em Maxaranguape-RN.

Características	Unidade	Tratamentos de adubação				CV (%)
		orgânica		T2	T3	
		T1				
Biomassa	($kg\ m^{-2}$)	4,98 b	9,36 a	9,61 a	9,93 a	13,9
C	($g\ kg^{-2}$)	393,4 a	420,4 a	380,5 a	381,77 a	10,2
P	($g\ kg^{-2}$)	0,77 a	0,47 a	0,75 a	1,00 a	36,7

C:P	-	563, 58 ab	917,93 a	534,66 ab	400,00 b	33,0
N	(g kg ⁻²)	10,69 a	8,77 a	11,45 a	9,55 a	45,9
C:N	-	41,16 a	48,10 a	35,06 a	63,16 a	55,2
K	(g kg ⁻²)	1,37 a	4,42 a	5,65 a	12,23 a	85,2
Ca	(g kg ⁻²)	2,70 a	1,72 a	1,25 a	2,33 a	78,2
Mg	(g kg ⁻²)	2,05 a	1,87 a	1,82 a	2,23 a	36,9
S	(g kg ⁻²)	0,57 a	0,52 a	0,45 a	0,57 a	30,7
Na	(g kg ⁻²)	0,57 a	0,45 a	0,65 a	1,43 a	90,3
Cu	(mg kg ⁻²)	5,00 a	3,50 a	3,75 a	6,66 a	34,3
Fe	(mg kg ⁻²)	98,33 a	82,25 a	66,50 a	97,33 a	38,5
Mn	(mg kg ⁻²)	21,00 a	15,00 a	16,25 a	17,67 a	58,8
Zn	(mg kg ⁻²)	8,25 a	6,00 a	6,25 a	8,66 a	37,3

Nota: Tratamentos T1) resíduo remanescente no solo após 72 meses, T2) 36 meses, T3) 12 meses, e T4) resíduo recentemente aplicado no pomar a um mês. Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Dentre os atributos analisados vale notar a alteração da relação C:P do resíduo. A concentração mais alta desta variável foi detectada no resíduo após 36 meses da sua aplicação (T2) em relação ao resíduo recente (aplicado há um mês) no pomar (T4). As concentrações dos nutrientes analisados não sofreram alteração significativa pelos tratamentos testados, o que pode ser atribuído às variações dos materiais dentro de cada tratamento (com elevados coeficientes de variação). Aos 72 meses de aplicação estimaram-se os conteúdos de macronutrientes (g m⁻²) remanescentes, conforme segue: K (110,6) > N (44,7) > Mg (12,2) > Na (11,1) > Ca (10,2) > P (5,9) > S (2,8); bem como de micronutrientes (mg m⁻²): Fe (475,8) > Mn (72,0) > Zn (43,2) > Cu (41,0) Tabela 4. Valores mais baixos indicam as maiores perdas para o sistema solo-planta, revelando a importância da aplicação da casca de coco verde para a manutenção da fertilidade do Neossolo na perspectiva de uma produção de coco mais sustentável na região litorâneo.

Tabela 4-Nutrientes remanescentes das áreas com menor tempo de aplicação do resíduo (T4) e com maior tempo de aplicação (T1).

Características	Unidades	T1	T4
Biomassa	kg/m ²	4,98	9,93
C	g/m ²	19,59	3,79
P	g/m ²	3,85	9,78
C:P	-	563,58	399,95
N	g/m ²	54,46	99,18
C:N	-	41,16	63,16
K	g/m ²	6,70	117,40
Ca	g/m ²	14,19	24,44

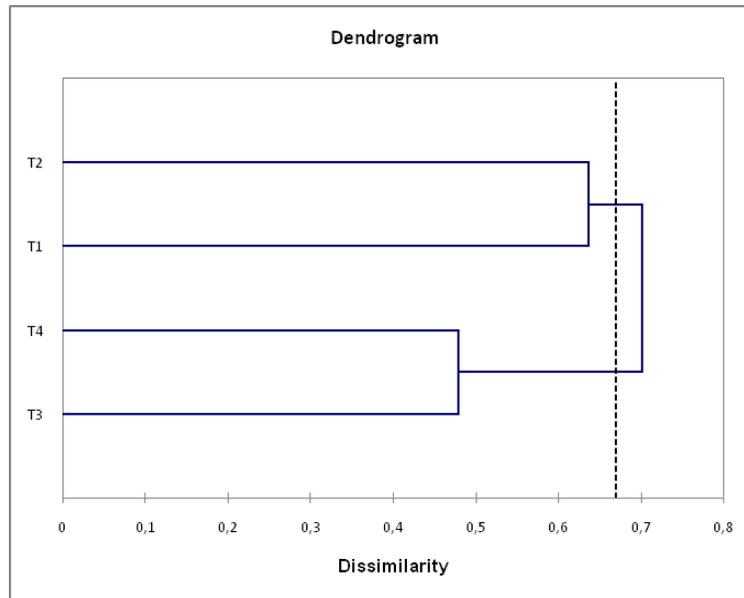
Mg	g/m ²	10,47	22,69
S	g/m ²	2,85	5,65
Na	g/m ²	2,69	13,80
Cu	mg/m ²	25,44	66,47
Fe	mg/m ²	5,09	9,85
Mn	mg/m ²	1,11	1,83
Zn	mg/m ²	0,42	0,86

Nota: Tratamentos T1) resíduo remanescente no solo após 72 meses, T2) 36 meses, T3) 12 meses, e T4) resíduo recentemente aplicado no pomar a um mês. Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

No período de 72 meses houve um decréscimo aproximado de 50% da biomassa total aplicada, evidenciando alta resiliência no processo de mineralização do resíduo. A exceção ocorreu com o aumento da relação C:P após 36 meses da aplicação do resíduo (T2), em comparação ao controle (T4) (Tabela 3). A alta relação C:P em T2 (917,93) possivelmente está associada a atividade da microbiota decompositora do resíduo. As altas relações entre carbono e os nutrientes (N, P, K) indicam uma baixa acessibilidade aos nutrientes pelas comunidades microbianas decompositoras da matéria orgânica do solo, o que explica a permanência de cerca da metade do resíduo após 72 meses de aplicação no pomar. Foi verificado em T1 maior lixiviação de elementos como (P, N, K, Ca, Mg) quando comparado a T4.

Os agrupamentos formados pela análise de cluster confirmam a diferença química do material residual de cada tratamento avaliado, visto que quatro tratamentos estão nitidamente separados, onde o ambiente T1 e T2 são mais similares, sendo T3 o material residual mais isolado na Figura 7 e que se diferencia dos demais. A formação de grupos diferentes e distintos do tratamento controle demonstra a alteração dos atributos químicos da biomassa do resíduo conforme aumenta o tempo de decomposição do resíduo.

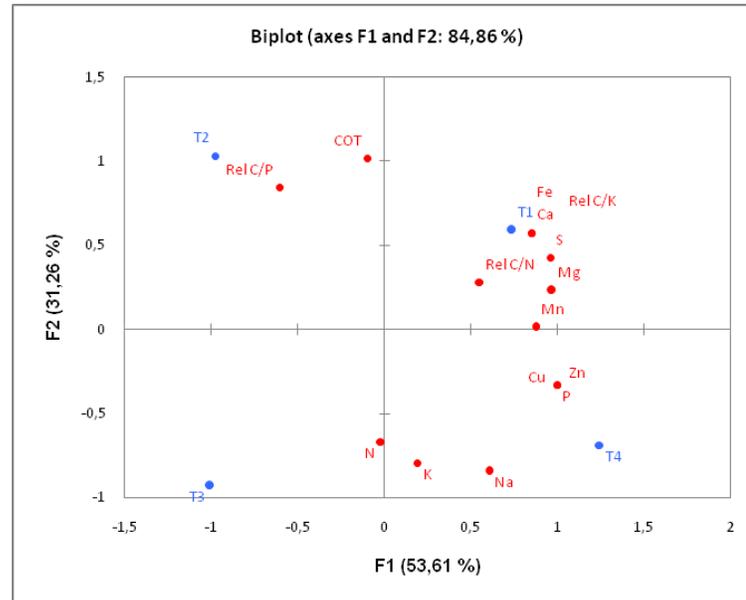
Figura 7-Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos segundo os teores de nutrientes do material residual dos tratamentos avaliados.



Nota: T1= resíduo com 72 meses, T2= resíduo com 36 meses, T3= resíduo com 12 meses, T4= resíduo recém aplicado.

Os pesos entre as variáveis e os componentes principais permitiu caracterizar as variáveis que mais interferem na decomposição do material residual do coco, conforme demonstra a Figura 8. As variáveis mais fortemente correlacionadas estão incluídas nos quadrantes de T1 e T2, foram: COT, Rel C/P, Rel C/K, Rel C/N, Fe, Ca, S, Mg e Mn, apresentam-se no primeiro e segundo quadrante, com pequeno ângulo em relação ao eixo das abscissas. Dentre os atributos químicos analisados, as variáveis que apresentaram maior influência na análise dos componentes principais e com maior correlação de Pearson estão com os teores de nutrientes do resíduo (Tabela 3). Pode-se observar que as variáveis Ca, Mg, Fe, Mn, S, Rel C:N, Rel C:K e COT foram as mais influentes no tratamento T1, e todas são altamente correlacionadas entre si (Figura 8).

Figura 8-Análise de componentes principais (PCA) com base nas variáveis químicas do material residual do coco em diferentes períodos de decomposição.



5.3 ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICO QUÍMICOS DO SOLO

As características químicas do solo tratado casca de coco verde triturada, variaram nas entrelinhas dos coqueiros anões ao longo dos períodos avaliados (Tabela 5), permitindo evidenciar a contribuição do resíduo na manutenção da fertilidade do solo. Em relação à sua acidez (pH em água), houve aumento em períodos intermediários T2 (6,83) e T3 (6,48) e nos teores de P assimilável nos períodos, bem como o aumento no teor de K e da relação C:N no solo adubado há 72 meses (T1), comparado à área com aplicação recente (T4) do resíduo. Em relação a este último tratamento houve ainda redução na acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) em T2 e nos teores de C e Mn do solo de T1.

Tabela 5-Atributos químicos do solo submetido a tratamentos com casca de coco verde na Fazenda Fada em Maxaranguape-RN.

Características	Unidade						CV (%)
		T1	T2	T3	T4	T5	
C	(g/kg)	3,76 b	6,28 a	5,33 a	5,18 a	3,36 b	16,9
P	(mg/kg)	10,97 c	21,87 b	28,17 a	6,33 cd	2,47 d	24,5
N	(g/kg)	0,04 b	0,10 ab	0,22 a	0,15 ab	0,16 ab	49,2
Rel C:N	-	111,4 a	77,5 ab	24,4 b	38,2 b	42,6 ab	53,2
K⁺	(mmolc/dm ³)	1,72 c	4,18 b	6,55 a	0,63 d	0,50 d	21,6
Ca²⁺	(mmolc/dm ³)	10,67 b	21,67 a	15,83 ab	19,33 ab	14,33 ab	35,7
Mg²⁺	(mmolc/dm ³)	8,17 ab	13,33 a	9,83 ab	9,33 ab	6,67 b	32,1
Na⁺	(mmolc/dm ³)	0,17 bc	0,17 bc	0,83 a	0,67 ab	0,00 c	95,8
Cu	(mg/dm ³)	0,12 b	0,12 b	0,12 b	0,13 b	0,38 a	66,3
Fe	(mg/dm ³)	20,50 c	22,67 c	29,33 b	24,50 cb	35,50 a	11,7
Mn	(mg/dm ³)	3,13 b	7,63 a	6,27 ab	6,83 a	9,40 a	29,2
Zn	(mg/dm ³)	0,45 b	0,77 b	0,52 b	0,27 b	1,85 a	44,6
pH	(H ₂ O)	6,37 c	6,83 b	6,48 bc	6,13 c	7,47 a	3,5
H+Al³⁺	(mmolc/dm ³)	23,35ab	12,53 bc	34,27 a	26,65 a	0,00 c	42,0
CTC⁽¹⁾	(mmolc/dm ³)	44,17 b	54,83 ab	66,83 a	56,33 ab	21,83 c	14,4
SB⁽²⁾	(mmolc/dm ³)	20,83 b	39,50 a	32,50 ab	29,67 ab	21,83 b	30,9
V⁽³⁾	(%)	47,7 c	71,8 b	48,7 c	52,7 bc	100,0 a	20,6

Nota: Tratamentos: T1) área com resíduo após 72 meses da aplicação, T2) área com resíduo após 36 meses da aplicação, T3) área com resíduo após 12 meses da aplicação, T4) área com resíduo aplicado recente (há 30 dias da avaliação) e T5) área com plantas de 72 meses de idade, mas sem aplicação do resíduo. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem no teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

De outro modo, houve aumento na disponibilidade de micronutrientes (Cu, Fe, Zn) e redução nos teores de C, Na, CTC e acidez potencial em área de cultivo com 72 meses que não recebeu o resíduo (T5). As variações nas concentrações de nutrientes podem ser devidas às interações entre os nutrientes e a matriz do solo e relacionadas com o processo de absorção dos nutrientes pelas raízes das plantas. Notou-se redução dos valores de carbono orgânico (COT) e N total do solo no tratamento T1. Este fato também impactou numa alteração da relação C:N do solo, sendo esta superior em T1 (111,47).

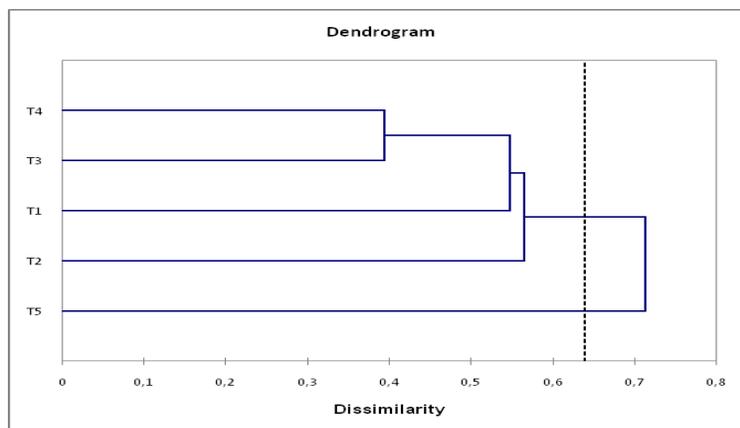
Os teores de bases trocáveis (K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺) variaram entre os tratamentos com e sem resíduo (Tabela 1). Com relação ao K⁺ trocável (Tabela 5) houve diferenças entre T1 (1,72 mmolc dm³), T2 (4,18 mmolc dm³), T3 (6,55 mmolc/dm³) e T4 (0,63 mmolc/dm³), indicando a influência do tempo da aplicação do resíduo no aporte de K ao solo, onde o tratamento T3 apresentou os maiores teores deste elemento em relação ao resíduo recente (T4). O Ca²⁺ e Mg²⁺ trocável foram maiores em T2 (21,67 mmolc dm³), (13,33 mmolc dm³), respectivamente, em comparação com os

solos de T5 ($6,67 \text{ mmolc dm}^3$), permitindo evidenciar-se a contribuição nestes elementos com a adubação orgânica no pomar. Ainda foram detectadas variações na capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB) e saturação por bases (V) do solo, e os maiores valores ocorreram em T3 (CTC = 66,83%), T2 (SB = 39,5%) e T5 (V = 100%).

Na análise do P foi observada maiores teores entre os tratamentos em ordem decrescente em T3 ($28,17 \text{ mg/dm}^3$), T2 ($21,87 \text{ g/dm}^3$), T1 ($10,97 \text{ g/dm}^3$) e T5 ($2,47 \text{ g/dm}^3$), o que leva a sugerir aportes de P ao solo. Já os valores de Na^+ diferiram entre T5 ($0,00 \text{ mmolc dm}^3$) e T3 ($0,83 \text{ mmolc dm}^3$), indicando que o resíduo das cascas do coco pode contribuir, ainda que em pequena escala, com a sodificação do solo.

Em uma análise de agrupamentos (Figura 9), o dendrograma obtido da matriz de dados padronizados possibilitou agrupar os tratamentos com e sem resíduo de casca de coco. Nesta análise, as áreas foram agrupadas com base no grau de semelhança, com o objetivo de classificá-las em grupos mais ou menos homogêneos. Pela disposição na figura, ambientes pouco distanciados são mais semelhantes do que os amplamente distanciados. Observa-se que os tratamentos T4 e T3 apresentaram maior semelhança, por possuírem a menor distância euclidiana, seguidas por T1 e T2, sendo que o tratamento T5, foi o que apresentou um corte de distância euclidiana de 0,64, permitindo a divisão dos tratamentos em dois grupos distintos. Isso indica que, com o uso conjunto dos atributos químicos do solo, foi possível ordenar os dados em dois grupos.

Figura 9-Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos segundo as variáveis de nutrientes químicos do solo dos tratamentos avaliados.

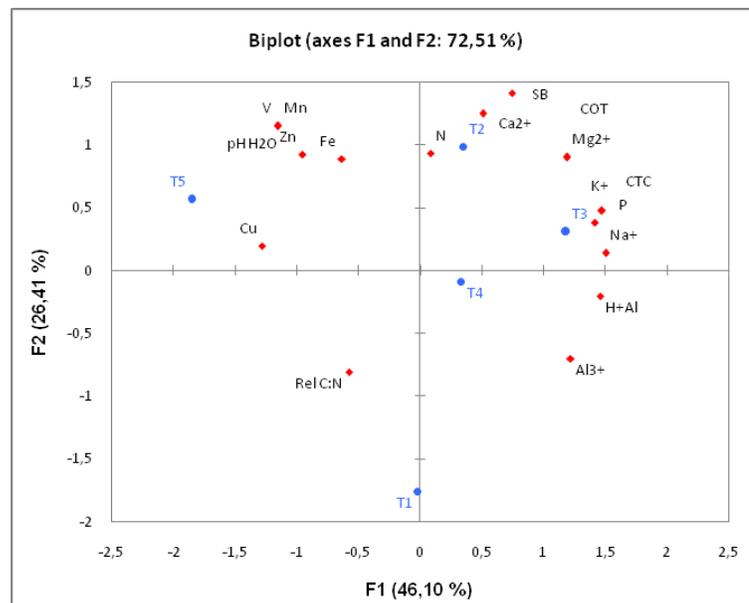


Nota: T1= resíduo com 72 meses, T2= resíduo com 36 meses, T3= resíduo com 12 meses, T4= resíduo recém aplicado e T5= plantas com 72 meses, mas sem aplicação do resíduo.

Os agrupamentos formados pela análise de cluster na caracterização química do solo (Figura 10) confirmam a diferença existente entre os tratamentos, visto que os tratamentos com menor tempo de decomposição do resíduo estão nitidamente mais relacionados, sendo o tratamento controle T5 isolado dos demais e portanto o que mais se diferencia na análise (Figura 6). Os atributos químicos do solo que promoveram ausência de similaridade de T5 com os demais tratamentos, pode ser evidenciada nos resultados da análise de componentes principais, onde são formados quatro grupos, no qual os tratamentos T2 e T3 se encontram mais próximos e mais afastados da área controle T5 e dos tratamentos T1 e T4.

As variáveis mais fortemente correlacionadas com as áreas de T2 e T3 foram: N, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , P, Na^+ , COT, SB e CTC, apresentando-se, no primeiro e segundo quadrante, com pequeno ângulo em relação ao eixo das abscissas. As áreas com aplicação do resíduo em menor tempo (T4) é caracterizada, por apresentar maior acidez trocável e acidez potencial (Tabela 5, Figura 10). No tratamento T1, pode-se observar o comportamento similar quanto a variável Rel C:N, que esteve mais fortemente correlacionada com esta área. Em contrapartida, a área controle T5 caracterizou-se por apresentar maior relação a Cu, Fe, Mn, Zn, V e pH em água (Tabela 5, Figura 10).

Figura 10-Análise de componentes principais (PCA) com base nas variáveis químicas do solo em diferentes períodos de decomposição da Fazenda Fada em Maxaranguape-RN



Através da Análise de Componentes Principais (ACP) pode-se indicar que as áreas com menor período de aplicação do material residual são mais intimamente relacionadas entre si (T2, T3 e T4), enquanto que o tratamento com maior tempo de decomposição do resíduo (T1) e o tratamento T5 apresentaram-se como ambientes diferenciados, sendo suas características químicas peculiares a este tipo de ambiente (Tabela 5 e Figura 10). Essa separação dos pontos de T5 e T1 com as demais é um indicador que a área sem aplicação do material residual e com aplicação a 72 meses tem seus atributos químicos afetados acentuadamente, fazendo com que se tornem diferentes dos solos cobertos por material residual em menores intervalos de tempo.

5.4 ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS

A respiração basal do solo (RBS) foi maior em solo tratado com resíduo há 72 meses (T1 = 9,23 $\mu\text{g de C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) e menor em tratamentos com plantas de 72 meses, sem aplicação do resíduo (1,88 $\mu\text{g de C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) (Tabela 6), evidenciando uma possível inibição da atividade microbiana do solo. Por sua vez, o carbono da biomassa microbiana (CBM) foi superior em períodos intermediários em T2 (511,53 $\mu\text{g de C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) e T3 (561,76 $\mu\text{g de C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) quando comparado aos demais tratamentos com resíduo. Nestes períodos intermediários possivelmente há incorporação de carbono com o crescimento celular. Vale notar que o resíduo de casa de coco verde também continha porções da amêndoa de coco.

Tabela 6-Valores de respiração basal do solo (RBS), carbono da biomassa microbiana (CBM) e os quocientes metabólicos ($q\text{CO}_2$), microbiano ($q\text{Mic}$) e de mineralização do carbono ($q\text{Min}$) no solo tratado com resíduo da casca de coco verde em Maxaranguape-RN.

Tratamento	Índices Microbiológicos					CV (%)
	T1	T2	T3	T4	T5	
RBS ($\mu\text{g de C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$)	9,23 a	5,17 b	4,12 bc	4,50 bc	1,88 c	35,3
CBM ($\mu\text{g de Cmic g}^{-1} \text{ solo}$)	394,91 b	511,53 a	561,76 a	334,05 b	557,87 a	13,5
$q\text{CO}_2$ ($\mu\text{g de C-CO}_2 \mu\text{g}^{-1} \text{ Cmic dia}^{-1}$)	2,42 a	1,01 bc	0,74 bc	1,36 b	0,32 c	40,3
$q\text{Mic}$ (%)	11,29 b	8,24 b	10,57 b	6,58 b	17,57 a	29,8
$q\text{Min}$ (%)	10,53 a	3,51 b	3,14 b	3,64 b	2,52 b	50,0

Nota: Tratamentos T1) área com resíduo após 72 meses da aplicação, T2) área com resíduo após 36 meses da aplicação, T3) área com resíduo após 12 meses da aplicação, T4) área com resíduo aplicado recente (há 30 dias da avaliação) e T5) área com plantas de 72 meses de idade, mas sem aplicação do resíduo. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem no teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Alterações na atividade da biomassa microbiana do solo tratado com resíduo também foram confirmadas pelos quocientes metabólico ($q\text{CO}_2$) e de mineralização ($q\text{Min}$) maiores em

T1, quando comparados ao solo com resíduo recente (T4). Por sua vez, qCO_2 foi superior em T1 ($2,42 \mu g$ de C- $CO_2 \mu g^{-1} Cmic \text{ dia}^{-1}$) e inferior em T5 ($1,36 \mu g$ de C- $CO_2 \mu g^{-1} Cmic \text{ dia}^{-1}$). Em T1 também foi detectado maior valor percentual de $qMin$ (10,53 %), indicando uma intensa mineralização do resíduo no solo após 72 meses da sua aplicação no pomar. O $qMic$ foi superior em T5 (17,57%), indicando que nos tratamentos com aplicação do resíduo de casa de coco aplicado ocorre algum desequilíbrio na atividade da microbiota, e possivelmente existe algum estresse sobre os microrganismos que atuam na ciclagem do carbono no solo.

As diferenças estatísticas verificadas pelo teste de Tukey a 5% foram, em parte, confirmados por meio da ACP (Figura 11, Figura 12) onde os pontos superior e médio, que compõem o grupo T2 e T3, localizaram-se a direita do diagrama superior, próximo do componente principal 1 (CP1). A semelhança da relação dos atributos químicos e microbiológicos entre estes dois terços da favoreceu a similaridade entre ambos. Já no grupo 2, de T1 e T5 foi possível perceber uma baixa similaridade entre as áreas quanto aos atributos químicos e microbiológicos deste grupo, localizados ligeiramente a esquerda do diagrama superior e à direita do inferior, porém próximos a CP2. O afastamento de variáveis como $qMic$, qCO_2 e RBS para o quadrante de T1, indicam baixa relação com aumento de componentes químicos, como expressos em outros tratamentos, já em T5, o aumento de $qMic$ e CBM ocorrem concomitantemente a outros componentes, tais como: pH em água, Mn, Zn, Cu e Fe (Figura 11 e 12).

Figura 11-Correlação de Pearson com base nas variáveis químicas e atributos biológicos do solo em diferentes períodos de decomposição do resíduo na Fazenda Fada em Maxaranguape-RN.

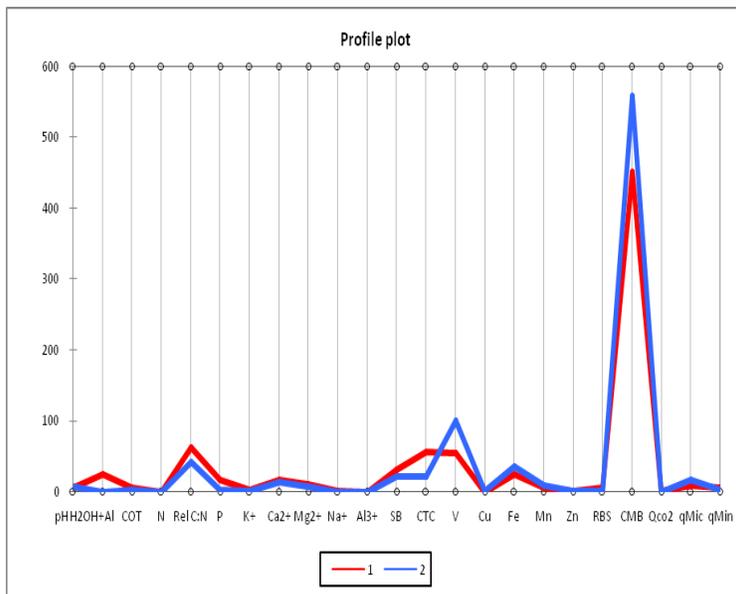
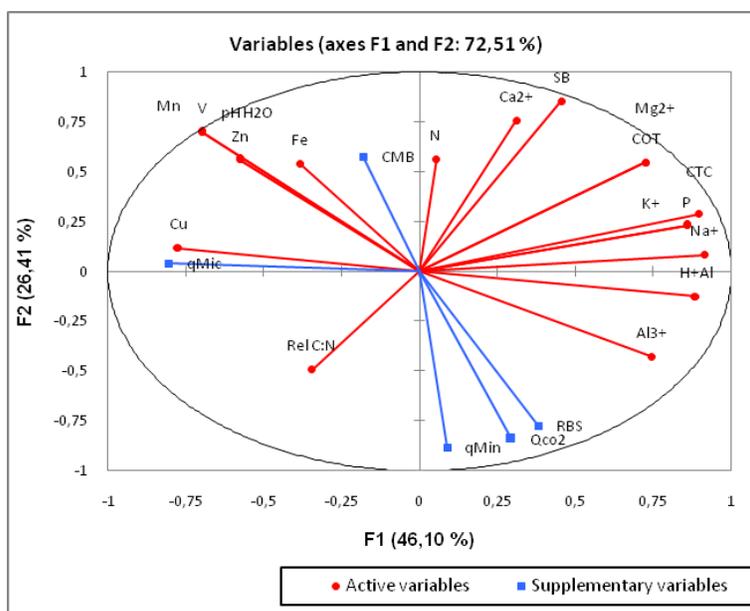


Figura 12-Análise de componentes principais (PCA) com base nas variáveis químicas e biológicas do solo em diferentes períodos de decomposição na Fazenda Fada em Maxaranguape-RN.



5.4.1 Fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

Um total de 14 espécies distribuídos em 8 gêneros de FMA foram identificados nas áreas tratadas com e sem resíduo de casca coco verde, e os caracteres marcantes dos morfotipos fúngicos detectados podem ser observados na Tabela 7. Destaca-se a baixa diversidade de gêneros de FMA em T1 (Tabela 8), revelando o impacto negativo do resíduo de casca de coco aplicado há 72 meses sobre as comunidades de *Dentiscutata* e *Racocetra* do solo. Neste tratamento identificaram-se tão somente quatro espécies fúngicas: *Acaulospora laevis*, *A. scrobiculata*, *Claroideoglopus claroideum* e *Funneliformis geosporum*. Vale notar que a diversidade de espécies foi maior para os gêneros *Acaulospora* e *Dentiscutata*, comportando três espécies fúngicas cada, enquanto os demais gêneros foram pouco diversos (Tabela 8) nas áreas do pomar avaliado.

Tabela 7-Descrição dos morfotipos de esporos de FMA em diferentes lotes de solo adubado com resíduo da casca de coco verde na Fazenda Fada em Maxaranguape-RN.

Nº	Gênero	Espécie	Cor	Tamanho (µm)	Formato	Superfície	Hifa	Observações
01	<i>Acaulospora</i>	<i>Acaulospora laevis</i>	Ocre	131	Globoso	Lisa	Presente	No Melzer é possível observar a presença de cicatrizes no interior do esporo.
02	<i>Acaulospora</i>	<i>Acaulospora scrobiculata</i>	Creme	140-188	Globoso	Rugosa	Ausente	A parte interior dos esporos apresenta pequenos pontos.
03	<i>Acaulospora</i>	<i>Acaulospora mellea</i>	castanho claro	113-141	Subgloboso	Lisa	Ausente	-
04	<i>Claroideoglopus</i>	<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	Amarelo brilhante	140-150	Globoso	Lisa	Ausente	-
05	<i>Dentiscutata</i>	<i>Dentiscutata colliculosa</i>	Ocre	200-250	Globoso	Lisa	Presente	Presença de escudo
06	<i>Dentiscutata</i>	<i>Dentiscutata hawaiiensis</i>	Amarela	180	Globoso	Lisa	Presente	Esporo grande com bulbo
07	<i>Dentiscutata</i>	<i>Dentiscutata biornata</i>	Ocre	160-188	Globoso	Lisa	Ausente	Esporo com presença de escudo com dentes
08	<i>Gigaspora</i>	<i>Gigaspora ramisporophora</i>	Amarelo	160-200	Subgloboso	Lisa	Ausente	No Melzer apresenta mudança de cor para laranja.
09	<i>Gigaspora</i>	<i>Gigaspora decipiens</i>	castanho claro	350	Globoso	Lisa	Presente	No Melzer o esporo apresenta cor alaranjada.
10	<i>Funneliformis</i>	<i>Funneliformis geosporum</i>	Laranja	120-130	Subgloboso	Rugosa	Presente	Hifa hialina

11	<i>Glomus</i>	<i>Glomus brohultii</i>	Ocre	120-150	Subgloboso	Lisa	Presente	Parede na cor marrom e hifa.
12	<i>Cetraspora</i>	<i>Cetraspora pellucida</i>	Clara	350	Globoso	Lisa	Presente	Na presença de Melzer apresenta mudança de cor para laranja, 2 GW.
13	<i>Racocetra</i>	<i>Racocetra fulgida</i>	Castanho alaranjado	170-180	Globoso	Lisa	Presente	Presença de escudo.
14	<i>Racocetra</i>	<i>Racocetra castanea</i>	Amarelo	180-200	Globoso	Lisa	Ausente	No Melzer apresenta cor alaranjada.

Tabela 8-Abundância e frequência relativas e diversidade de FMA no solo tratado com resíduo da casca de coco verde, em Maxaranguape (RN).

Espécies fúngicas	T1	T2	T3	T4	T5	Frequência (%)
	Abundância relativa (%)					
<i>Acaulospora laevis</i>	25,5	58,1	71,2	80,8	83,3	93,3
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	19,6	5,4	1,4	0,7	0,0	60,0
<i>Acaulospora mellea</i>	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	13,3
<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	25,5	10,9	12,0	10,6	0,0	73,3
<i>Dentiscutata colliculosa</i>	0,0	3,1	0,0	0,7	0,0	20,0
<i>Dentiscutata hawaiiensis</i>	0,0	3,1	3,5	0,0	3,2	46,7
<i>Dentiscutata biornata</i>	0,0	0,0	0,0	1,5	1,6	20,0
<i>Gigaspora ramisporophora</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	6,7
<i>Funneliformis geosporum</i>	29,3	0,0	7,7	0,0	7,2	46,7
<i>Glomus brohultii</i>	0,0	7,7	0,0	2,8	0,0	26,7
<i>Cetraspora pellucida</i>	0,0	7,0	1,4	0,0	3,2	46,7
<i>Racocetra fulgida</i>	0,0	0,8	0,7	1,4	0,8	33,3
<i>Racocetra castânea</i>	0,0	0,0	2,1	1,4	0,0	26,7
						CV (%)
FMA (gêneros 50 g ⁻¹ solo)	3,0 b	4,7 a	4,3 a	3,3 a	4,3 a	14,3
FMA (espécies 50 g ⁻¹ solo)	3,6 a	6,3 a	5,3 a	4,7 a	5,0 a	24,3
FMA (Esporos 50 g ⁻¹ solo)	110,0 a	172,0 a	189,7 a	187,3 a	169,7 a	44,8

Nota: T1= resíduo com 72 meses, T2= resíduo com 36 meses, T3= resíduo com 12 meses, T4= resíduo recém aplicado e T5= plantas com 72 meses, mas sem aplicação do resíduo.

Pela Tabela 8 pode ser notado que não houve diferenças significativas para as populações de esporos de FMA do solo, mas em T1 detectou-se somente 50 esporos de *Acaulospora* por 50 gramas de solo, enquanto nos demais tratamentos os esporos deste gênero variaram de 116 a 153 esporos 50 g⁻¹ de solo.

A diversidade de espécies permaneceu a mesma ao longo dos períodos avaliados, mas em termos de abundância relativa destacaram-se os fungos relacionados às espécies de *Acaulospora laevis*, *Acaulospora scrobiculata* e *Claroideoglopus etunicatum*, e cujas frequências relativas foram estimadas em 93,3%, 60,0% e 73,3%, respectivamente. Vale mencionar presença de esporos de *Acaulospora scrobiculata* e *Claroideoglopus etunicatum* em áreas adubadas com resíduo de casca de coco, ambas ausentes no solo controle. Neste último solo, por sua vez, detectaram-se fungos mais raros relacionados à *Gigaspora*

ramisporophora e *Dentiscutata biornata*, cujas espécies não foram detectadas em áreas adubadas há 12 meses ou mais, com resíduo de casca de coco.

6 DISCUSSÃO

O solo do pomar de coqueiro foi classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico típico. Essa classe de solo é comum nos platôs litorâneos e bastante usado para o cultivo de coqueiros na região tropical (ALMEIDA *et al.*, 2019). Com a caracterização do perfil do Neossolo evidenciou-se o decréscimo de matéria orgânica e dos teores trocáveis de Ca^{2+} , Mg^{+} e K^{+} ao longo do perfil e que era esperado. Essa classe de solo é naturalmente caracterizada por uma baixa fertilidade, em virtude de sua elevada condutividade hidráulica, o que favorece a lixiviação de cátions entre outros nutrientes (OLIVEIRA *et al.*, 2017), indicando fragilidade à degradação do solo.

A concentração de P próximo à superfície deste solo está associado aos teores mais altos de matéria orgânica do solo. Por sua vez, a concentração de P em camadas sub- superficiais (horizonte C) pode estar associado à mobilidade do elemento nas raízes, sendo que coqueiros possuem raízes profundas, passando de dois metros da superfície. Vale ressaltar que raízes mais finas e ativas do coqueiro anão foram detectadas nas camadas superficiais do solo, e que também foi observado por Miranda *et al.* (2007).

Segundo Freitas *et al.* (2013) os altos teores de P devem-se a capacidade da biomassa microbiana em atuar como reservatório deste elemento no solo, impedindo que este elemento seja incorporado ao solo e transformado em formas menos disponíveis para as plantas. O que pode ser confirmado pelos dados da respiração edáfica e a densidade populacional de esporos de FMA, pela elevada atividade biológica do solo da camada superficial, e decréscimos ao longo do perfil do solo. A importância da regulação dos níveis de P no solo está no fato de baixos teores deste nutriente interferirem, segundo Gatiboni (2003), na produtividade das plantas.

A biomassa da casca de coco verde triturada aplicada nas entrelinhas dos coqueiros foi reduzida significativamente no tempo maior da aplicação no campo, permanecendo próxima de 50% da biomassa total após 72 meses da sua aplicação. Isto é evidência de uma alta resiliência em processo de mineralização do resíduo. Nota-se que esse resíduo possui altos teores de lignina (40%) e celulose (25%), cujos compostos conferem maior grau de resistência à degradação (CABRAL *et al.*, 2017).

Para os nutrientes avaliados no resíduo (Tabela 3), não houve variações significativas, a exceção do aumento da relação C:P após 36 meses da aplicação do resíduo (T2), em comparação ao controle (T4). A alta relação C:P em S2 (919,93) possivelmente está associada a atividade da

microbiota decompositora do resíduo. Mas, a relação C:P foi considerada alta (>400) em todos os tratamentos. Relação C:P > 300 indica imobilização de P do solo em processo de decomposição da matéria orgânica (MALUF *et al.*, 2015).

Considerando a biomassa e as concentrações de nutrientes de resíduo orgânico remanescente no pomar (Tabela 3) foi possível estimar os aportes médios dos elementos (g m^{-2}): K (110,6) > N (44,7) > Mg (12,2) > Na (11,1) > Ca (10,2) > P (5,9) > S (2,8); bem como de micronutrientes (mg m^{-2}): Fe (475,8) > Mn (72,0) > Zn (43,2) > Cu (41,0) ao solo, após 72 meses da adubação orgânica. São evidências da adubação do solo. As maiores quantidades de K e N remanescentes no resíduo da casca de coco podem ser explicadas pelas frações de lignina e outros compostos orgânicos recalcitrantes (POLLET, 2018; CABRAL *et al.*, 2017), que permanecem no resíduo no período de 72 meses de decomposição deste material. Como observado, o K também foi o nutriente com maior taxa de liberação mesmo no período de 72 meses de aplicação do resíduo. O K não está associado a componentes estruturais do tecido vegetal, o que permite fácil liberação desse nutriente após o rompimento da membrana plasmática (MARSCHNER, 2012).

Todas as variáveis remanescentes submetidas a análise ACP estiveram mais fortemente relacionadas entre si no tratamento T1, com os elementos COT, Rel C:P, Rel C:K, Rel C:N, Fe, Ca, S, Mg e Mn. A correlação encontrada entre os elementos pode ocorrer porque eles possuem características físico-químicas, como massa atômica, raio iônico e o estado de oxidação (PAYE *et al.*, 2010).

O COT não esteve relacionado a elementos como N e K, presentes no quadrante do tratamento T4. As correlações do COT com outros elementos como Fe, Ca, S, Mg e Mn pode ser explicada pela grande afinidade destes elementos por grupos carboxílicos e fenólicos da matéria orgânica e, por isso, geralmente apresentam-se associados à fração orgânica dos solos (SPARKS, 2002).

Diferentemente do resíduo, foram observadas variações em vários atributos físico-químicos do solo, onde foi observada a diminuição do pH nos tratamentos adubados com resíduo, o que pode ser explicado principalmente pela lignina (CABRAL *et al.*, 2017), composto mais rígido e de difícil acesso a ação enzimática. Outros fatores como a nitrificação e a maior absorção de cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+}) também implicam na diminuição do pH. No entanto, mesmo com acidez ativa menor, o tratamento T1 e os demais (exceto T2) encontram-se na faixa de pH entre 6,0 e 6,5, considerada adequada para a maioria das plantas cultivadas (LOPES, 1998).

Quanto aos teores de C e N, a redução observada no tratamento (T1), elevando os valores de relação C:N (111,47), indica maior imobilização do N, enquanto os menores valores no tratamento com aplicação recente do resíduo T4 (38,2), sugerem maior capacidade de mineralização, favorecendo naturalmente o processo de absorção e exportação de N pelas plantas. Liu *et al.* (2016) relataram que mudanças nos teores de N dos solos eram relacionadas à microbiota do solo, sendo esta susceptível a mudanças ambientais, como índice pluviométrico e temperatura (ZHU *et al.*, 2018). Segundo Kämpf e Fermino (2000) as variações na composição química da casca de coco verde decorre de fatores como a fonte de onde o material foi retirado, tempo, época do ano, lixiviação, absorção pelas plantas e as características climáticas do ambiente. Ressalta-se que a matéria orgânica é composta por uma fração de C lábil, cuja mineralização ocorre no menor tempo (AWALE *et al.*, 2017). Mas, este processo não significa que vai haver aumento de C no solo, como evidenciado em T1.

Os teores de bases trocáveis (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+) variaram entre os tratamentos com e sem a presença do resíduo no pomar (Tabela 3). Teores mais altos de K^+ e Na^+ foram detectados no solo após 12 meses da aplicação (T3) em relação ao resíduo recente (T4) e teores mais altos de Ca^{2+} e Mg^{2+} no tratamento T2 em comparação com os solos de T1 e T5, respectivamente, a menor disponibilidade de nutrientes em T1 também pode ser explicado pela idade das plantas, o que por consequência implica em maiores taxas de absorção, valores considerados altos de acordo com Malavolta e Romero (1975), que consideram solos pobres aqueles com teores de Ca e Mg abaixo de $3,0 \text{ mmolc/dm}^3$. As concentrações de bases explicam as variações nos valores de CTC, S e V dos tratamentos avaliados. A baixa saturação por bases ($V < 50\%$) em T1 caracteriza o solo como distrófico, ou seja, pouco fértil (RONQUIM, 2010).

Pela análise química do fósforo (P) foi constatado diferença em ordem decrescente nos tratamentos T3 ($28,17 \text{ g dm}^{-3}$), T2 ($21,87 \text{ g dm}^{-3}$), T1 ($10,97 \text{ g dm}^{-3}$) e T5 ($2,47 \text{ g dm}^{-3}$), o que permitiu evidenciar a influência do tempo de aplicação do material residual no aporte de P disponível no solo. A rápida liberação de P no início do período de decomposição possivelmente está relacionada à perda de P na forma mais solúvel em água (COSTA *et al.*, 2016), sendo que a velocidade na liberação deste elemento está condicionada a exposição dos resíduos orgânicos aos fatores ambientais, como temperatura e pluviosidade (JALALI; RANJBAR, 2009). Resultados semelhantes com relação ao teor de P do solo, após a incorporação deste tipo de material residual,

foram verificados por Miranda, Sousa e Crisostomo (2007), que registraram valores de 22,33 mmolc kg⁻¹ no primeiro ano de incorporação da casca de coco ao solo, e no segundo ano constataram uma diminuição para 2,34 mmolc kg⁻¹ deste nutriente.

Com relação aos valores de K⁺ do solo, foram detectadas diferenças entre o material residual dos tratamentos T1 (1,72 mmolc dm⁻³), T2 (4,18 mmolc dm⁻³) e T3 (6,55 mmolc dm⁻³), onde foi perceptível que o material residual influenciou no aporte de K ao solo, o que não foi observado entre os tratamentos T4 e T5, evidenciando nestes tratamentos que o resíduo não exerceu influência. Mas, durante espaço de tempo mais longo pode haver redução de K no solo, o que é explicado pela sua mobilidade, levando-se em conta as características físicas de solos arenosos, pouco tempo de reação, e a disponibilidade de água que influi na disponibilidade de K ao solo (Tabela 3). Além da estrutura fisiológica da planta também influencia diretamente nos aportes desse elemento ao solo, e as condições hídricas, visto que a menor liberação de K em T4 pode estar relacionada a época de estiagem em que o material foi colhido e também pelo fato de ser uma área onde o resíduo foi recém aplicado. Semelhantemente ao observado neste estudo, Miranda, Sousa e Crisostomo (2007) avaliaram os efeitos da incorporação do resíduo da casca de coco verde e observaram que houve aumento de K após um ano de incorporação.

Com a avaliação do resíduo de casca de coco remanescente constatou-se uma perda próximo de 50% na biomassa orgânica, e, por consequência, no conteúdo do carbono orgânico (COT) após 72 meses da sua aplicação nas entrelinhas dos coqueiros. É bem sabido que casca de coco possui alto teor de lignina (40%) e celulose (25%), compostos que conferem alto grau de durabilidade e resistência (CABRAL *et al.*, 2017). Isto implica numa degradação mais lenta do resíduo. Além da constituição ligno-celulósica (AWALE *et al.*, 2017), outros aspectos envolvendo a granulometria e a aplicação na superfície do solo podem impactar na decomposição do resíduo. Fatores como revolvimento, quebra de estruturas ou agregados e exposição do substrato à ação de microrganismos decompositores interferem no processo de mineralização do carbono.

O COT é um indicador que depende de forma direta dos processos de síntese, de decomposição e mineralização da matéria orgânica do solo, sendo formado pela transformação de compostos orgânicos, que dão origem aos compostos coloidais, que possuem maior tempo de estabilização (WISMEIER *et al.*, 2019). As altas concentrações de C orgânico do solo estão diretamente relacionadas com a adição de biomassa e a menor perturbação do solo, possibilitando a mensuração da qualidade do solo (BOENI *et al.*, 2014).

Por sua vez, no solo ocorreu redução nos valores de COT e N ao longo de tempo de aplicação do material residual. O COT é um indicador de qualidade que depende dos processos de síntese, decomposição e mineralização da MO do solo (AWALE *et al.*, 2017). Segundo Boeni *et al.* (2014) os resíduos vegetais conseguem fornecer maiores concentrações de C orgânico ao solo nos primeiros 36 meses. No entanto, Oliveira *et al.* (2018) destaca que em solos que não tenham restrições de fertilidade, os resíduos orgânicos podem promover acúmulo de COT por maiores espaços de tempo.

Já os teores de Ca^{2+} superiores entre os tratamentos T1 (10,67 mmolc dm^{-3}) e T2 (21,67 mmolc dm^{-3}). Tal diferença evidencia que o maior tempo de incorporação do material residual e a absorção pelas plantas, influencia na diminuição dos teores de Ca^{2+} no solo. Enquanto Rosa *et al.* (2002) e Miranda, Sousa e Crisostomo (2007) verificaram teores de 6,8 g kg^{-1} e 13,14 mmolc kg^{-1} , respectivamente. Os teores de Mg^{2+} apresentaram-se maiores no tratamento T2 (13,33 mmolc dm^{-3}), quando comparados a T5 (6,67 mmolc dm^{-3}). Isso ocorre, porque à medida que há degradação da matéria orgânica, eleva-se as taxas de mineralização e liberação desse nutriente no solo.

Já os valores de Na^+ foram superiores em T3 (0,83 mmolc dm^{-3}), quando comparados ao valor zero detectado em T5, evidenciando-se o aporte do elemento com a aplicação do resíduo de casca de coco ao solo. A diminuição no teor de Na^+ pode estar relacionado com a presença de Ca^{2+} , que reduz drasticamente as concentrações desse elemento no solo, favorecendo assim a sua lixiviação e conseqüente retirada do sistema (CHAGAS *et al.*, 2015). Segundo Lourenzi *et al.* (2016) a incorporação de resíduos orgânicos no solo promove incremento nos teores de nutrientes como Ca, Mg, P e K, a medida que são decompostos, além disso também contribuem na ciclagem de nutrientes e na formação de matéria orgânica.

Através das análises de semelhança entre componentes principais dos tratamentos, foi constatado maior semelhança química entre os tratamentos T3 e T4, e também entre os tratamentos T1 e T2, sendo o tratamento T5 o mais distante em termos de semelhança química, onde alguns elementos como Cu, Fe, Mn, Zn, V e pH apresentaram boa correlação com este tratamento. Segundo Fadigas *et al.* (2002) a correlação positiva entre esses elementos pode estar relacionada a homogeneidade destas amostras e os métodos de extração adotado para estes elementos.

Os atributos microbiológicos de maneira geral foram influenciados positivamente pela incorporação do resíduo ao solo (Tabela 6). O baixo teor de CBM detectado em T1 indica uma condição de solo menos favorável a microbiota do solo, fato que pode ser atribuído ao maior gasto com energia para a manutenção da microbiota ativa e a energia despendida durante o processo de decomposição do resíduo orgânico. De modo oposto ao observado no presente estudo, Soares *et al.* (2002) indicaram que os solos cobertos por resíduo de casca de coco verde apresentaram maiores valores de CBM, cerca de 336 e 276 μg de C-CO₂ g^{-1} dia^{-1} , reafirmando assim o potencial dos resíduos da cultura do coqueiro no aumento de CBM dos solos cultivados com coqueiro. Deste modo, quanto maior os valores de CBM, maior é o estoque e a ciclagem nutrientes do solo (STENBERG, 1990), característica atribuída nesse estudo ao tratamento controle S4, com aplicação mais recente do resíduo.

Gomes *et al.* (2015) explicam que a adição de resíduos ao solo acelera a dinâmica da decomposição da matéria orgânica proporcionando regulação de atributos relacionados a estrutura do solo. Os baixos teores de CBM em T1 podem refletir na perturbação da microbiota do solo, em decorrência do acúmulo de compostos orgânicos e mineralização do COT, em decorrência do aumento da RBS (NOVAK *et al.*, 2018). Vale notar o valor mais alto do qCO₂ em T1 e indicativo de estresse ambiental. Em tal situação a biomassa microbiana necessita de maiores aportes de C para a manutenção de suas atividades metabólicas (MENDES *et al.*, 2011), levando como consequência ao desprendimento de C-CO₂ para a atmosfera.

Com relação aos atributos microbiológicos, nesse estudo foi demonstrado que o CBM é um indicador sensível ao manejo, que variou conforme a incorporação de resíduo vegetal, levando a diminuição do CBM e possivelmente da estrutura das comunidades de microrganismos decompositores da matéria orgânica. Ao longo do tempo ocorrem mudanças na estrutura da microbiota do solo (RAKKAR *et al.*, 2017).

Por sua vez, os valores mais elevados de RBS indicam alta atividade biológica do solo em T1, e que pode estar relacionada à disponibilidade de frações do C orgânico lábil, o que intensifica a decomposição e a mineralização da MO (AWALE *et al.*, 2017), além de favorecer a absorção de nutrientes pelas plantas. Elevados valores de RBS indicam intensa atividade biológica e rápida transformação da matéria residual em nutrientes disponíveis para as plantas, isso ocorre em decorrência da expressiva quantidade de C lábeis, onde a decomposição da matéria orgânica ocorre de forma mais intensa (SOUZA *et al.*, 2017).

Segundo Roscoe *et al.* (2006) elevados valores de RBS nem sempre indicam uma condição favorável, pois a curto prazo podem fornecer maior disponibilidade de nutrientes para as plantas e menores perdas de *nutrientes* no sistema solo-planta, enquanto que a longo prazo podem significar perda de carbono orgânico para a atmosfera. Sendo assim, práticas como a adubação verde e incorporação de resíduos vegetais podem favorecer a regulação da umidade, dando condições favoráveis para a instalação da biomassa microbiana (CUNHA *et al.*, 2011).

O *qMic* foi maior no tratamento T5 (17,57%) sem aplicação do resíduo e menores nos tratamentos onde o resíduo foi aplicado. Segundo Mercante *et al.* (2008) baixos teores de *qMic* podem estar relacionados a fatores de estresse ambiental, tais como a baixa qualidade da matéria orgânica, acidez do solo, déficit hídrico, condições em que a microbiota não utiliza com muita eficiência o carbono orgânico. Enquanto altos teores indicam a qualidade da matéria orgânica ou a mudança de algum outro fator limitante na imobilização do C pelos microorganismos do solo (LEITE *et al.*, 2003).

Foi verificado uma baixa similaridade entre fatores químicos e biológicos entre os tratamentos T1 e T5, indicando efeito de separação entre os dois pomares, pois, os atributos com os maiores valores em T5 e que apresentam maior peso na separação entre os pomares, foram: pH, Mn, Zn, Cu e Fe, concomitantemente a essas variáveis químicas também aumentaram o *qMic* e CBM. De todos os atributos relacionados ao C, o CBM respondeu por quase toda a separação entre pomares com e sem aplicação do resíduo, evidenciando assim o uso deste indicador na identificação de mudanças a longo prazo no estabelecimento de uma cultura (BARRETA *et al.*, 2005). No entanto, a separação entre áreas para os atributos microbiológicos e químicos relacionados ao elemento N apresenta menor correlação.

Dentre os microrganismos funcionais do solo identificaram-se populações de FMA do solo. Houve redução do número de gêneros após 72 meses das incorporações de resíduo (T1), porém não houve variação no número de espécies e na densidade de esporos totais desses fungos de solo. A diversidade de espécies permaneceu a mesma ao longo dos períodos avaliados, mas em termos de abundância relativa destacaram-se os fungos relacionados às espécies de *Acaulospora laevis*, *Acaulospora scrobiculata* e *Claroideoglossum etunicatum*, e cujas frequências relativas foram estimadas em 93,3%, 60,0% e 73,3%, respectivamente. O gênero *Acaulospora* (Acaulosporaceae) é considerado generalista, em razão da boa adaptabilidade às condições de solo ácido e com variadas concentrações de P disponível, como relataram Miranda *et al.* (2016).

A ocorrência do gênero *Acaulospora* em todos os tratamentos pode ser justificada pela tendência de ocorrência desse grupo em solos com pH inferior a 6,5, além de ser um grupo que suporta variações com relação aos teores de P no solo (SIQUEIRA *et al.*, 1989). Este grupo também é relatado em solos que apresentam baixa fertilidade e que sofreram processos de degradação biológica de sua microfauna edáfica (SIEVERDING, 1991).

Vale mencionara a presença de esporos de *Acaulospora scrobiculata* e *Claroideoglopus etunicatum* em áreas adubadas com resíduo de casca de coco, e ambas as espécies estavam ausentes no solo controle. Neste último solo, por sua vez, detectaram-se fungos mais raros relacionados à *Gigaspora ramisporophora* e *Dentiscutata biornata*, cujas espécies não foram detectadas em áreas adubadas há um ano ou mais com resíduo de casca de coco. No entanto, a ausência de esporos no solo não garante que a espécie de FMA não esteja presente nos tratamentos avaliados. Deste modo, é possível que estas se apresentem na forma de hifas no solo (SANTOS *et al.*, 2014). Além disso, a abundância das espécies em um tratamento pode ser justificada, segundo Bashan *et al.* (2000), pelos diferentes estádios de sucessão no solo, induzindo condições que levam a baixa esporulação das espécies de FMA.

Os gêneros *Claroideoglopus*, *Glomus*, *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Funneliformis*, *Dentiscutata*, *Diversispora*, *Redeckera*, *Scutellospora* e *Septoglopus* são frequentes em sistemas radiculares do coqueiro (RAJESHKUMAR *et al.*, 2015), em consórcio com outras culturas agrônomicas. O número de esporos micorrízicos no solo não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, mas esteve na faixa de (110 a 189,7 esporos/50 g de solo) nos tratamentos T1 e T3, respectivamente. Estes resultados, reforçam os encontrados por Dezordi *et al.* (2007), que estiveram na faixa de (154 a 109 esporos/50 g de solo) para a cultura do coqueiro. Segundo Martins *et al.* (1999) os fungos têm boa adaptabilidade na colonização de áreas com condições ambientais adversas.

As comunidades de FMA possivelmente são moduladas pelos atributos de qualidade do solo. Houve redução na diversidade de gêneros fúngicos em T1, onde se detectaram baixos valores de saturação por bases (47,7%) e baixa acidez ativa (pH = 6,37) (Tabela 2), além dos altos valores de respiração edáfica e quociente metabólico. Segundo Berude *et al.* (2015), as alterações de pH, salinidade e outras propriedades químicas interferem na atividade micorrízica ao nível da rizosfera das plantas.

7 CONCLUSÕES

A casca de coco verde triturada pode ser aplicado no pomar de coqueiros anões em dose de 100 toneladas por hectare, numa perspectiva de melhorar as propriedades químicas e biológicas do solo. Em Neossolo Quartzarênico ocorre o aporte de macro e micronutrientes, aumentando a disponibilidade de N, tendendo a diminuir conforme o tempo de aplicação do resíduo, P e K estiveram em níveis bons em até 72 meses da aplicação do resíduo, Mg em até 36 meses e Na em até 12 meses de aplicação do material vegetal, além do incremento da atividade microbiana do solo em 72 meses.

A adubação orgânica com resíduo de casca de coco influencia as comunidades de fungos micorrízicos arbusculares, sem afetar sua diversidade no solo. Morfotipos de esporos de fungos prevalentes pertencem às espécies *Acaulospora laevis*, *Acaulospora scrobiculata* e *Claroideoglobus etunicatum*. Ao longo dos períodos de incorporação do material residual tem-se aumento da atividade de biomassa microbiana, medida pela respiração edáfica e pelos quocientes metabólico e de mineralização da matéria orgânica do solo.

Com base nas condições do trabalho e as evidências sobre atributos do solo pode-se recomendar a utilização da casca de coco verde e o seu uso como cobertura orgânica do solo arenoso cultivado com coqueiros em localidades próximas da agroindústria geradora do resíduo.

REFERÊNCIAS

- ARAGÃO, W. M. *et al.* Fruto do coqueiro para consumo natural. In: ARAGÃO, W. M. (Ed.). *Coco póscolheita*. Brasília: **Embrapa – CTATC**, cap. 3, p. 19-25, 2002.
- ARROUCHA, E. M. M, *et al.* Características físicas e químicas da água de coco anão verde e anão ermelho em diferentes estádios de maturação. **Caatinga, Mossoró**, v. 18, n. 2, p. 82- 87, 2005.
- ALMEIDA, J. A, *et al.* Atributos químicos, físicos e mineralógicos de solos derivados de rochas sedimentares do Planalto de Lages-SC, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 14, n. 3, p. 6576, 2019.
- ALVARES, C.A, *et al.* **Köppen's climate classification map for Brazil**. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p.711–728, 2014.
- ALVES, K. N. A, *et al.* Estudo da evolução do cultivo de coco em municípios do estado do Pará e nos estados brasileiros produtores. **Agroecossistemas**, v. 10, n. 2, p.209-224, 2018.
- AMARAL, T. L. **Substratos com figra de coco e fungos micorrízicos no cultivo de bromélias**. 2007. 181 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Rio de Janeiro - RJ, 2007.
- ARAÚJO, E. A. *et al.* Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.
- AWALE, R, *et al.* Soil organic carbon pools as early indicators for soil organic matter stock changes under different tillage practices in Inland Pacific Northwest. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v.5, p.96, 2017.
- BALOCH, P. A.; RAJPAR, I.; TALPUR, U. A. Effect of integrated nutrient management on nut production of coconut (*Cocos nucifera* L.) and soil environment-a review. **Science Technology and Development**, v. 33, n. 1, p. 14-21, 2014.
- BARETTA, D. *et al.* 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**, v.29, p.715-729, 2005.
- BASHAN, Y, *et al.* Assessment of mycorrhizal inoculum potencial in relation to the establishment of cactus seedlings under mesquite nurse-trees in the Sonoran Desert. **Applied Soil Ecology**, n. 14, p.165- 175. 2000.
- BERUDE, M. C, *et al.* Micorrizas e sua importância agroecológica. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, p.132-146, 2015.
- BENASSI, A. C.; DE SANTANA, E. N.; FANTON, C. J. **O cultivo do coqueiro-anão- verde: tecnologias de produção**. 2013.

BOENI, C. P. C, *et al.* Eficiência de soluções densas no fracionamento físico da matéria orgânica do solo. **Revista brasileira de ciência do solo**. Viçosa. v. 39, n. 2, p. 490-497, 2015.

BUCHKOWSKI, R. W, *et al.* Microbial stoichiometry overrides biomass as a regulator of soil carbon and nitrogen cycling. **Ecology**. v. 96, p.1139-1149, 2015.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Bookman Editora, 2013.

CABRAL, M. M. S. *et al.* Composição da fibra da casca de coco verde in natura e após pré-tratamentos químicos. **Engevista**, v. 19, n. 1, p. 99-108, 2017.

CAETANO, J. O, *et al.* Dinâmica da matéria orgânica de um neossolo quartzarênico de cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1245-1255, 2013.

CÂMARA, F. M. M, *et al.* Fenologia do coqueiro anão verde em região semiárida. **Agropecuária científica no semiárido**, v. 14, n. 4, p. 291-296, 2019.

CAMARGO, F. F. **Indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo em sistemas agroflorestais agroecológicos na área de preservação ambiental Serra da Mantiqueira, MG**. 2016. 242 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal - Universidade Federal de Lavras. Lavras - MG, 2016.

CANTARELLA, H. *et al.* Determinação da matéria orgânica. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**, p. 173-180, 2001.

CAPUANI, S. *et al.* Atividade microbiana em solos, influenciada por resíduos de algodão e torta de mamona. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 1269-1274, 2012.

CARNEIRO, R. F. V. *et al.* Atributos dos fungos micorrízicos arbusculares como indicadores de áreas degradadas e em recuperação. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 11, n. 2, 2016.

CHAGAS, A, *et al.* Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

CHERUBIN, M. R, *et al.* Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 39, n. 2, 2015.

CORDEIRO, M. A. S. *et al.* Colonização e densidade de esporos de fungos micorrízicos em dois solos do cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, n. 3, p. 147- 153, 2005.

COSTA, C. H. M, *et al.* Residual effects of superficial liming on tropical soil under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1633-1642, 2016.

CHI, Y, *et al.* Multiple gradient effects on spatial distribution of island soil microbial biomass.

European Journal of Soil Biology. v. 83, p.65-75. 2017.

CUNHA, E. Q. *et al.* Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. **II-Atributos biológicos do solo.** 2011.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: Método da fumigação-extração. **Embrapa Agrobiologia-Documentos**, [s.l:s.n],1997.

DEZORDI, C. *et al.* Ocorrência de micorrizas arbusculares na cultura do coqueiro (*Cocos nucifera* L.) em solos naturais e cultivados da Amazônia Ocidental. In: **Embrapa Amazônia Ocidental-Artigo em anais de congresso.** Gramado. Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira.[Porto Alegre]: UFRGS Solos: SBCS, Núcleo Regional Sul, 2007.

DUVAL, M.E, *et al.* Labile soil organic carbon for assessing soil quality: influence of management practices and edaphic conditions. **Catena.** v. 171, p. 316-326, 2018.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa dos Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: **EMBRAPA/CNPS**, p. 353, 2014.

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

FÁVARO, L. H. *et al.* Otimização nas características físicas em latossolo vermelho distrófico associadas a coberturas vegetal. **Anais do Seminário de Pesquisa e Inovação Tecnológica-SEPIT**, v. 2, n. 1, 2018.

FRAZÃO, L. A. *et al.* Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 5, p. 641-648, 2008.

FREITAS, I. F, *et al.* Fósforo extraído com resinas trocadoras de íons e mehlich-1 de latossolos submetidos a fontes e doses de fósforo e tempos de contato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 667-677, 2013.

FREIXO, A. A. *et al.* Quantificação de microrganismos em solos sob plantio puro de *Pseudosamanea guachapele* (Kunth) Harms e em consórcio com *Eucalyptus grandis* Hill ex Maideu. **Embrapa Agrobiologia-Comunicado Técnico**, 2000.

FERRAREZI, R. S.; FERREIRA FILHO, A. C.; TESTEZLAF, R. Water height and irrigation time effect on substrate water content in subirrigation. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 2, p. 186-194, 2017.

FERREIRA, J. M. S; WARWICK, D. R. N; SIQUEIRA, L. A. **A cultura do coqueiro no Brasil.** Brasília: EMBRAPA-SPI, 1998.

FOKOM, R. *et al.* Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid forest zone of south Cameroon. **Soil and Tillage**

Research, v. 120, p. 69-75, 2012.

FONSECA, H. M. A. C, *et al.* III-Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. **Nutrição mineral de plantas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG**, p. 74-85, 2006.

FONTES, H. R. F; FERREIRA, J. M. S; SIQUEIRA, L. A. **Sistema de produção para a cultura do coqueiro**. Aracaju-SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002.

FORTE, C.T. *et al.* Coberturas vegetais do solo e manejo de cultivo e suas contribuições para as culturas agrícolas. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 1, 2018.

GASPARIM, E. *et al.* Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 27, n. 1, p. 107- 115, 2005.

GATIBONI, L. C, *et al.* **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, 2003.

GOBERNA, M. *et al.* Microbial community structure at different depths in disturbed and undisturbed semiarid Mediterranean forest soils. **Microbial Ecology**, v. 50, n. 3, p. 315- 326, 2005.

GOMES, R. L. R, *et al.* Propriedades físicas e teor de matéria orgânica do solo sob diferentes coberturas vegetais. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, v. 9, n. 1, p.72-139, 2015.

GOMES, F. P.; PRADO, C. H. B. A. Ecophysiology of coconut palm under water stress. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 19, n. 4, p. 377-391, 2007.

HOFFMANN, R. B, *et al.* Efeito do manejo do solo no carbono da biomassa microbiana. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 1, n. 1, p. 168-178, 2018.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - **Sistema IBGE de Recuperação Automática. Produção agrícola Municipal, 2018**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>. 22 Nov. 2019.

ISLAM, K. R.; WEIL, R.R. Soil Quality indicators proprieties in Mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**. V55, p 79-78, 2000.

ISRAEL, A. U, *et al.* Extraction and characterization of coconut (*Cocos nucifera* L.) coir dust. **Songklanakarín Journal of Science & Technology**, v. 33, n. 6, p. 717-724, 2011.

ITO, E. N.; ROSA, M. de F.; MARCONCINI, J. M. Development of composites using low density polyethylene (LDPE) and coconut fibers (CF). In: **Embrapa Agroindústria Tropical- Resumo em anais de congresso**. In: international conference on food and agriculture applications of nanotechnologies, 1., 2010.

IWATA, B. F. Dinâmica da matéria orgânica em argissolo vermelho amarelo sob sistemas agroflorestais no cerrado piauiense. 2010. **Dissertação (Mestrado)** - Universidade Federal do Piauí, Teresinha, 2010.

JALALI, M.; RANJBAR F. Effects of sodic water on soil sodicity and nutrient leaching in poultry and sheep manure amended soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 153, n. 1-2, p. 194- 204, 2009.

JENSEN, J. L, *et al.* Relating soil C and organic matter fractions to soil structural stability. **Geoderma** 337:834-843, 2019.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—V: A method for measuring soil biomass. **Soil biology and Biochemistry**, v. 8, n. 3, p. 209-213, 1976.

KÄMPF, A.N. e FERMINO, H.H. Substratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes. Porto Alegre: **Gênesis**, 312p., 2000.

KAPPES, C.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C. Produtividade do milho em condições de diferentes manejos do solo e de doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1310-1321, 2013.

KHAN, M.; SCULLION, J. Effect of soil on microbial responses to metal contamination. **Environmental Pollution**, v. 110, n. 1, p. 115-125, 2000.

KLAUBERG-FILHO, O.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M de S. Fungos micorrízicos arbusculares em solos de área poluída com metais pesados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 125-134, 2002.

LANA, R. M. Q. *et al.* Micronutrientes catiônicos: fontes, doses e ambientes. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 3, p. 332-339, 2017.

LEITE, L. F. C. *et al.* Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolosob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27, n. 5, p. 821-832, 2003.

LEITE, L. F. C *et al.* Variabilidade espacial das frações da matéria orgânica do solo em área degradada sob recuperação. **Embrapa Meio-Norte-Artigo em periódico indexado**, 2015.

LEITE, D. R, *et al.* **Atributos químicos, físicos e biológicos de um Neossolo Quartzarênico sob sistemas agroflorestais biodiversos.** 2017. 76 f. Dissertação (mestrado)- Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal- Universidade Federal de Goiás, 2017.

LIANG, C, *et al.* Microbial production of recalcitrant organic matter in global soils: implications for productivity and climate policy. **Nature Reviews Microbiology**. p. 9:75, 2011.

LIANG, C, *et al.* The importance of anabolism in microbial control over soil carbon storage.

Nature Microbiology. v. 2, p. 17-25, 2017.

LIMA, A. M. N, *et al.* Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1053-1063, 2008.

LIU, YR, *et al.* Species identity of biocrust-forming lichens drives the response of soil nitrogen cycle to altered precipitation frequency and nitrogen amendment. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 96, p. 128- 136. 2016.

LISBÔA, F. M, *et al.* Indicadores de qualidade de Latossolo relacionados à degradação de pastagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1184-1193, 2016.

LOPES, S. A. Manual internacional de fertilidade do solo. 2. Ed., rev. ampl. Piracicaba: **POTAFOS**, 1998. 177p.

LOPES, E. B. M. **Diversidade metabólica em solo tratado com bio sólidos**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2001.

LOSS, R. *et al.* Remoção de polifenóis do resíduo da casca do coco verde: uma nova perspectiva de fonte de fibras. **Infarma-Ciências Farmacêuticas**, v. 24, n. 1/3, p. 81-83, 2012.

LOURENZI, C. R. *et al.* Atributos químicos de Latossolo após sucessivas aplicações de composto orgânico de dejetos líquido de suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 3, p. 233-242, 2016.

MALAVOLTA, E; ROMERO, J. P. **Manual de adubação**. São Paulo, ANDA, 346p, 1975.
MALAVOLTA, E. **O futuro da nutrição de plantas tendo em vista aspectos agrônômicos, econômicos e ambientais**. Informações Agrônômicas, nº 121, 2008.

MALUF, H. J. G. M, *et al.* Decomposição de resíduos de culturas e mineralização de nutrientes em solo com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1681-1689, 2015.

MALHOTRA S. K, *et al.* Diagnosis and management of soil fertility constraints in coconut: A Review. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 87, n. 6, p. 1–16, 2017.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 2002. 889p.

MARTINS, C. R; MIRANDA, J. C. C de; MIRANDA, L. N. de. Contribuição de fungos micorrízicos arbusculares nativos no estabelecimento de *Aristida setifolia* Kunth em áreas degradadas do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 665-674, 1999.

MARTINS, C.R, *et al.* Produção de coco no Estado de Sergipe frente à expansão da cultura do coco no Nordeste e no Brasil. In: **Embrapa Tabuleiros Costeiros-Artigo em anais de congresso**. In: Congresso brasileiro de fruticultura, 22., 2012, Bento Gonçalves. Anais. Bento Gonçalves: SBF, 2012., 2011.

- MARTINS, D.; GONÇALVES, C. G.; SILVA JUNIOR, A. C. Coberturas mortas de inverno e controle químico sobre plantas daninhas na cultura do milho. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, p. 649- 657, 2016.
- MEDEIROS, S. W. T, *et al.* Levantamento da textura do solo e da relação silte/argila em regiões semiáridas do nordeste. **Agropecuária científica no semiárido**, v. 14, n. 4, p. 266- 272, 2019.
- MENDES, F. G, *et al.* Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, v. 12, n. 3, p. 211-220, 2006.
- MENDES, I. C, *et al.* Microbiologia do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: Faleiro, F. G.; Andrade, S. R. M. de; Reis-Júnior, F. B. dos. (Eds.). **Biotecnologia: estado da arte e aplicações na agropecuária**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p.219-244, 2011.
- MENDONÇA, E.S; MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 107p.
- MERCANTE, F. M, *et al.* Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 4, p. 479-485, 2008.
- MIRANDA, J. R. *et al.* Distribuição do sistema radicular de plantas jovens de coqueiro- anão sob diferentes frequências de irrigação. **Revista Ciência Agronômica**, v. 35, n. 2, p. 309-318, 2004.
- MIRANDA, F. R; DE SOUSA, C. C. M; CRISOSTOMO, L. De A. Utilização da casca de coco como cobertura morta no cultivo do coqueiro anão-verde. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 1, p. 41-45, 2007.
- MORAVEC, C. *et al.* The living soil. **CMG Garden Notes**, n. 212, 2014.
- MIRANDA, E. M, *et al.* Inoculação micorrízica e adubação fosfatada na produção de mudas de Amendoim Forrageiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 2, p. 240-246, 2016.
- NOVAK, E, *et al.* Variação temporal dos atributos microbiológicos do solo sob diferentes usos. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p. 21-30, 2018.
- OLIVEIRA, J. L. S, *et al.* Uso, efeitos e potencial tóxico dos agrotóxicos na qualidade dos solos. **Agrarian Academy**, v. 5, n. 9, p. 454-467, 2018.
- OLIVEIRA, T. P, *et al.* Atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, suplemento 1, p. 72-78, 2017.
- OLIVEIRA, M. B. S. **Avaliação da capacidade antioxidante e perfil químico de extratos etanólicos da fibra da casca de coco (*Cocos nucifera* – L.)**. 2015. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Química e Biotecnologia - Universidade Federal de Alagoas, 2015.

OLIVEIRA, S. L. R. **Aproveitamento da casca do coco verde (Cocos nucifera L.) para produção de celulases**. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, 81 f., Universidade Federal do Ceará, 2010.

OUVRIER, M. Evolution de la composition minérale du cocotier hybride PB 121 au jeune âge. **Oléagineux**, v. 45, n. 2, p. 69-80, 1990.

PAYE, H.S. *et al.* Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos. **R. Bras. C. Solo**, v. 34, p. 2041-2051, 2010.

PEREIRA, T. A. *et al.* Crescimento e produção do coqueiro anão em solo salino-sódico sob doses de sulfato de potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 7, p. 454-458, 2017.

PIRES, R. R; CARMO- JUNIOR, G. N. R. C. Processos erosivos em rodovias: uma revisão sistemática sobre os métodos de previsão e monitoramento. **E&S Engineering and Science**, v. 7, n. 4, p. 2-23, 2018.

PULIDO M, *et al.* Selecting indicators for assessing soil quality and degradation in rangelands of Extremadura (SW Spain). **Ecological indicators**. v. 74, p. 49-61, 2017.

POLLET, C. S. **Nitrogênio de resíduos de culturas de verão em frações físicas da matéria orgânica de dois solos de terras baixas**. Dissertação de mestrado, 2018.

QUEIROGA-NETO, J. A. **Crescimento do coqueiro anão submetido à aplicação de biofertilizante líquido na presença e ausência da cobertura morta do solo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Ciências Biológicas – Universidade Estadual da Paraíba. Paraíba - PB, 2017.

RABOT E, *et al.* Soil structure as an indicator of soil functions: a review. **Geoderma**. v.314, p.122- 137, 2017.

RAJESHKUMAR, P. P. *et al.* Diversity, richness and degree of colonization of arbuscular mycorrhizal fungi in coconut cultivated along with intercrops in high productive zone of Kerala, India. **Symbiosis**, v. 65, n. 3, p. 125-141, 2015.

RAKKAR, MK, *et al.* Impacts of cattle grazing of corn residues on soil properties after 16 years. **Soil Science Society of America Journal**. v. 81, p. 414-424, 2017.

RAIESI, F.; KABIRI, V. Identification of soil quality indicators for assessing the effect of different tillage practices through a soil quality index in a semi-arid environment. **Ecological Indicators**, v. 71, p. 198-207, 2016.

RASID, MD M.; CHOWDHURY, N.; OSMAN, K. T. Effects of Microbial Biomass and Activity on Carbon Sequestration in Soils under Different Planted Forests in Chittagong, Bangladesh. **International Journal of Agriculture and Forestry**, v.6, n.6, p.197-205, 2016

RIBEIRO, P. E. A. Implementação de análise de nitrogênio total em solo pelo método de Dumas. **Embrapa Milho e Sorgo- Documentos**, p. 26, 2010.

RODRIGUES, L. A, *et al.* Qualidade de mudas de *Moringa oleifera* Lam. Cultivadas em substratos com fibra de coco verde e compostos orgânicos. **Revista Ceres**, v. 63, n. 4, p. 545-552, 2016.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Embrapa Territorial-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 2010.

ROSA, M. F, *et al.* Utilização da casca de coco como substrato agrícola. **Embrapa Agroindústria Tropical-Documentos**, 2002.

ROSA, M. F, *et al.* Caracterização do pó da casca de coco verde usado como substrato agrícola. **Embrapa Agroindústria Tropical-Comunicado Técnico**, 2001.

ROSCOE, R. *et al.* **Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica.**Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, p. 163-198, 2006.

SALTON, J. C.; TOMAZI, M. Sistema radicular de plantas e qualidade do solo. **Embrapa Agropecuária Oeste-Comunicado Técnico**, 2014.

SAMPAIO, A. P. C, *et al.* Pegada hídrica da água de coco verde nas principais regiões produtoras do Nordeste. **LALCA-Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida**, v. 1, n. Espec, p. 128- 141, 2018.

SANTOS, R. S. *et al.* Efeito da sazonalidade na comunidade de fungos micorrízicos arbusculares em um fragmento de mata de cipóem Vitória da Conquista, Bahia. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 12, n. 1, p. 46, 2014.

SANTOS, J. M. A. P, *et al.* Cobertura morta no controle da temperatura e umidade do solo e produção comercial da Alface. In: Simpósio de Manejo de Solo e Água, I, 2016, Mossoró. **Anais**. Rio Grande do Norte - RN, 2016.

SEBRAE. **O cultivo e o mercado do coco verde.** Acesso em: 28-07-2019. Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-cultivo-e-o-mercado-do-coco-verde,3aba9e665b182410VgnVCM100000b272010aRCRD>. 2016.

SPARKS, D.L. **Environmental soil chemistry**. 2.ed. San Diego, Academic Press, 2002. 353p.

SPOHN, M, *et al.* Microbial carbon use efficiency and biomass turnover times depending on soil depth—Implications for carbon cycling. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 96, p.74- 81, 2016.

SPOHN, M, *et al.*Microbial respiration per unit microbial biomass depends on litter layer carbon-to- nitrogen ratio. **Biogeosciences**. v.12, p.817-823, 2015.

SIEVERDING, E, *et al.* Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. **Sonderpublikation der GTZ (Germany)**, 1991.

SINGH, JS, GUPTA, VK. Soil microbial biomass: A key soil driver in management of ecosystem functioning. **Science of The Total Environment**. v. 634, p. 497-500, 2018.

SILVA, EE, AZEVEDO, PHS, DE-POLLI, H. **Determinação do Nitrogênio da Biomassa Microbiana do Solo (BMS-N)**. Seropédica – RJ: EMBRAPA, 2007.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Propriedades do solo influenciadas pela matéria orgânica do solo. **Fertilidade do solo**, p. 319, 2007.

SILVA, F. C. S (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

SILVA, R. R, *et al.* Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1585-1592, 2010.

SILVA, E. S, *et al.* Desenvolvimento da parte aérea do coqueiro anão verde sob aplicação de fertilizantes. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 11, n. 4, p. 1571-1577, 2017.

SIQUEIRA, J. O, *et al.* Ocorrência de micorrizas vesicular-arbusculares em agro e ecossistemas do Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 24, n. 12, p. 1499-1506, 1989.

SOARES, E. M. B, *et al.* Alterações no solo e no desempenho produtivo do coqueiro em um sistema manejado com cobertura de bagaço de coco verde. In: **Embrapa Semiárido- Artigo em anais de congresso**. Belém: SBF, 2002. 1 CD-ROM, 2002.

SOUSA, D. A, *et al.* Development of a heavy metal sorption system through the PS functionalization of coconut (*Cocos nucifera*) fibers. **Bioresource technology**, v. 101, n. 1, p. 138-143, 2010.

SOUSA, I. F. *et al.* Lisímetro de pesagem de grande porte. Parte II: Consumo hídrico do coqueiro anão verde irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 526-532, 2011.

SOUZA, M. C.M. R, *et al.* Tolerância à salinidade e qualidade de mudas de Noni sob diferentes ambientes e matéria orgânica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 7, p. 2052, 2017.

SOBRAL, L. F, *et al.* Coqueiro-Anão Verde. **Embrapa Agroindústria Tropical-Capítulo em livro científico**, 2009.

SMITH, J.L, *et al.* Cycling of nitrogen through microbial activity. In.: Soil Biology. **CRC Press**, p.97- 126, 2018.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive dicator

of changes in soil organic matter. *Aust. J. Soil Res.* v. 30, p.195-207, 1992.

SPOSITO, G.; ZABEL, A. Identification of soil quality indicators for assessing the effect of different tillage practices through a soil quality index in a semi-arid environment. *Geoderma*, v. 114, p. 143-144, 2003.

TAMPUBOLON, F. H.; DANIEL, C.; OCHS, R. Réponses du palmier à huile aux fumures azotée et phosphorée à Sumatra. *Oléagineux*, v. 45, n. 11, p. 475-486, 1990.

TANG S, *et al.* Synthesis of soil carbon losses in response to conversion of grassland to agriculture land. *Soil and Tillage Research*. v. 185, p.29-35, 2019.

TEIXEIRA, L. A. J, *et al.* Adubação com NPK em coqueiro anão-verde (*Cocos nucifera* L.) - atributos químicos do solo e nutrição da planta. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 27, n. 1, p. 115-119, 2005.

TEIXEIRA, L. A. J.; SILVA, J. A. A. Nutrição mineral de populações e híbridos de coqueiro (*Cocos nucifera* L.) cultivados em Bebedouro (SP). *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.25, n. 2, p. 371- 374, 2003.

TORRES, C. M. *et al.* Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes sistemas de produção no município de Paragominas-PA. In: **Embrapa Amazônia Oriental- Artigo em anais de congresso**. In: ENCONTRO AMAZÔNICO DE AGRÁRIAS, 8., 2016, Belém, PA. Anais... Belém, PA: [sn], 2016.

VIAUD, V, *et al.* Landscape-scale analysis of cropping system effects on soil quality in a context of crop-livestock farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.265, p. 166-177, 2018.

VIEIRA, C. L. *et al.* Emprego do capim vetiver para o controle da erosão e cobertura do solo nos areais do sudoeste do estado do RS, Brasil. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 1, n. 2, p. 338-351, 2018.

WALKLEY, A; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, v. 37, n. 1, p. 29-38, 1934.

WARDLE, D. A. **A biomassa microbiana do solo e sua importância nos ecossistemas terrestres**. EMBRAPA-CNPAF/EMBRAPA-CNPSo/EMBRAPA-SPI, 1994.

WIESMEIER M, *et al.* Soil organic carbon storage as a key function of soils-A review of drivers and indicators at various scales. *Geoderma* .v. 333, p. 149-162, 2019.

YEOMANS, J.C; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, v. 19, p. 1467-1476, 1988.

ZHU, Q, *et al.* Coupling soil water processes and nitrogen cycle across spatial scales: Potentials, bottlenecks and solutions. *Earth-Science Reviews*. v. 187, p. 248-258, 2018.

ZILLI, J. É, *et al.* Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 20, n. 3, p. 391-411, 2003.