



ANDERSON CHAVES RODRIGUES

**ATRIBUTOS FÍSICOS, MICROBIOLÓGICOS, UMIDADE E
TEMPERATURA DO SOLO SOB APLICAÇÃO DE BAGANA
DE CARNAÚBA**

TERESINA – PIAUÍ

2021

ANDERSON CHAVES RODRIGUES

**ATRIBUTOS FÍSICOS, MICROBIOLÓGICOS, UMIDADE E TEMPERATURA DO SOLO
SOB APLICAÇÃO DE BAGANA DE CARNAÚBA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí como parte das exigências do Programa de Pós- Graduação em Agronomia - Agricultura Tropical para a obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical com área de concentração em Uso e manejo do Solo e da Água.

Orientador

Prof. Dr. Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes

TERESINA – PI

2021

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco
Serviço de Processamento Técnico

R696a Rodrigues, Anderson Chaves.
Atributos físicos, microbióticos, umidade e temperatura
do solo sob aplicação de bagana de carnaúba / Anderson
Chaves Rodrigues. – 2021.
45 f.

Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agrárias
da Universidade Federal do Piauí, Programa de Pós-
Graduação em Agronomia – Agricultura Tropical,
Teresina, 2021.

“Orientador: Prof. Dr. Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes”

1. Agricultura Tropical. 2. Resíduo Agroindustrial –
Bagana de Carnaúba. 3. Solo - Cobertura. I. Título.

CDD 630.913

ANDERSON CHAVES RODRIGUES

ATRIBUTOS FÍSICOS, MICROBIOLÓGICOS, UMIDADE E TEMPERATURA DO SOLO SOB APLICAÇÃO DE BAGANA DE CARNAÚBA

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí como parte das exigências do Programa de Pós- Graduação em Agronomia - Agricultura Tropical para a obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical com área de concentração em Uso e manejo do Solo e da Água.

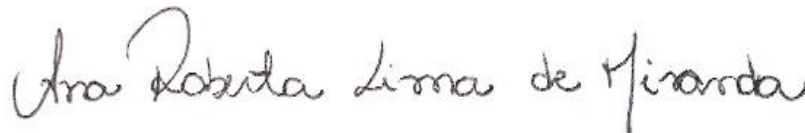
APROVADA em 26 de agosto de 2021



Prof. Dr. Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes
(Orientador)



Prof. Dr. Ricardo Silva de Sousa
(Coorientador)



Prof^a. Dr^a Ana Roberta Lima de Miranda
(Membro externo)

TERESINA – PIAUÍ

2021

*É hora de recomeçar tudo outra vez, sem
ilusão e sem pressa, mas com a teimosia do
inseto que busca um caminho no terremoto.*

Carlos Drummond de Andrade

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Francisca das Chagas e Francisco Antônio, por todo o apoio, pelo amor incondicional e por terem me ensinado lições de caráter e bondade que levo comigo para a vida. Às minhas queridas tia Maricô, Benedita (*in memoriam*) e ao meu amado tio Zequinha.

À minha irmã Ada Cristina e aos meus sobrinhos Rebeca Rodrigues, Kauan Rodrigues e Caio Rodrigues por serem um ponto de paz em meio às turbulências da vida. Aos queridos Rafael Paz e Thayse Ferreira, pessoa cuja existência me alegra e cuja importância não pode ser expressa em palavras.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, meu refúgio e meu amigo de todas as horas.

À Capes por financiar e propiciar condições adequadas para a realização desta pesquisa, e por sempre acreditar na ciência como chave para um mundo melhor.

À Universidade Federal do Piauí (UFPI), pelo excelente Programa de Pós-graduação em Agronomia – Agricultura Tropical. A todos os professores do programa, que com seus ensinamentos fomentam a sede por conhecimento dos pós-graduandos.

Aos caríssimos Prof. Dr. Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes e Prof. Dr. Ricardo Silva de Sousa pelas preciosas contribuições para este projeto de pesquisa e para a minha formação enquanto pesquisador e cidadão.

Aos queridos Sâmia Matos, Romário Martins, Carla Alencar, Vicente Neto, Clériston Correia, Ana Raquel, Ingrid Setubal, Edson Neto, Alzeneide Lopes, Theuldes Santos e João Pedro Aquino. Um agradecimento especial às inigualáveis Célia Ribeiro e Raquel Sobral por todos os momentos vividos ao longo desta árdua jornada. Vocês tornaram tudo mais leve, divertido e prazeroso.

Aos bolsistas de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC) Nathan Melo, Lucas Bandeira e Pedro Lucas.

RESUMO

A bagana da carnaúba, resíduo agroindustrial resultante da extração da cera das folhas dessa palmeira, é um material com grande potencial para uso como cobertura vegetal a ser empregado na agricultura. O objetivo desse trabalho foi verificar o impacto da bagana de carnaúba sobre os atributos microbiológicos e físicos e regime térmico e hídrico em um LATOSSOLO Vermelho Amarelo de textura franco arenosa. O experimento foi conduzido no Colégio Técnico de Teresina. O resíduo já está no seu terceiro ano de aplicação no solo. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições, e os tratamentos foram: aplicação superficial de 10 t ha⁻¹ bagana de carnaúba; incorporação de 10 t ha⁻¹ bagana de carnaúba; aplicação superficial de 10 t ha⁻¹ bagana de carnaúba + NPK, incorporação de 10 t ha⁻¹ bagana de carnaúba + NPK, NPK e Testemunha para plantio de feijão Caupi. Após o ciclo da cultura, coletou-se amostras de solo em duas profundidades (0-10 cm e 10-20 cm). Foi avaliado carbono orgânico total (COT), estoque de carbono, carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente microbiano (qMIC), respiração basal do solo (RBS), quociente metabólico (qCO₂), umidade, temperatura, densidade do solo (Ds), Porosidade total (PT), macroporosidade (Map) e Microporosidade. Os tratamentos que receberam a bagana de carnaúba e NPK isolado expressaram maiores valores de COT na profundidade superficial, enquanto o estoque de carbono apresentou resultados superiores nos tratamentos com bagana de carnaúba aplicada na superfície isoladamente ou associada ao NPK. O CBM foi superior na profundidade de 0-10 cm em todos os tratamentos com aplicação de bagana. Na profundidade de 10-20 cm, apenas os tratamentos com bagana associada ao NPK expressaram maiores valores de CBM. Os valores das variáveis qMIC e RBS não diferiram entre os tratamentos, enquanto o quociente metabólico apresentou tendência de redução para tratamentos com uso de bagana o que indica que a biomassa avaliada foi eficiente quanto à utilização de carbono e energia. A bagana de carnaúba contribuiu para a redução na amplitude térmica do solo, implicando em manutenção de uma maior umidade e menor temperatura no solo. O tratamento com bagana de Carnaúba incorporada ao solo contribuiu para diminuição da densidade do solo na camada superficial. Os tratamentos com bagana de carnaúba estiveram associados com o carbono orgânico, atributos biológicos e umidade do solo.

Palavras chave: Resíduo agroindustrial, *Copernicia prunifera*, Cobertura do solo.

ABSTRACT

Carnauba palm bagana, an agro-industrial residue resulting from the extraction of wax from the leaves of this palm tree, is a material with great potential for use as a plant covering to be used in agriculture. The objective of this research was to evaluate the impact of carnauba palm bagana (leaf fibers) on the microbiological and physical attributes and the thermal and water regime in a Red Yellow Oxisol with a sandy loam texture. The experiment was conducted at the Technical College of Teresina. The residue is already in its third year of application to the soil. The experimental design adopted was in randomized blocks with six treatments and four replications, and the treatments were: superficial application of 10 t ha⁻¹ carnauba bagana; incorporation of 10 t ha⁻¹ carnauba bagana; surface application of 10 t ha⁻¹ carnauba bagana + NPK, incorporation of 10 t ha⁻¹ carnauba bagana + NPK, NPK and Control for planting cowpea beans. After the crop cycle, soil samples were collected at two depths (0-10 cm and 10-20 cm). Total organic carbon (TOC), carbon stock, microbial biomass carbon (CBM), microbial quotient (qMIC), basal soil respiration (RBS), metabolic quotient (qCO₂), moisture, temperature, soil density (Ds) were evaluated), Total Porosity (PT), Macroporosity (Map) and Microporosity . The treatments that received carnauba bagasse and NPK alone expressed higher TOC values in the superficial depth, while the carbon stock presented superior results in treatments with carnauba bagasse applied to the surface alone or associated with NPK. The CBM was superior at the depth of 0-10 cm in all treatments with application of bagana. At a depth of 10-20 cm, only the treatments with bagana associated with NPK expressed higher CBM values. The values of the qMIC and RBS variables did not differ between treatments, while the metabolic quotient showed a tendency to decrease for treatments using bagasse, which indicates that the evaluated biomass was efficient in terms of the use of carbon and energy. The carnauba bagana contributed to the reduction in the thermal amplitude of the soil, implying in the maintenance of higher humidity and lower soil temperature. The treatment with Carnauba bagana incorporated into the soil contributed to a decrease in the density of the soil in the surface layer. Treatments with carnauba bagana were associated with organic carbon, biological attributes and soil moisture.

Keywords: Agro-industrial waste, *Copernicia prunifera*, Ground cover

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Umidade do solo nas profundidades de 0-10 cm (A) e 10-20 cm (B) sob bagana de carnaúba em cobertura ou incorporada e associada ou não a NPK em referência ao solo descoberto e não fertilizado (testemunha) e uso de adubação mineral com NPK..	19
Figura 2. Temperatura do solo nas profundidades de 0-10 cm (A) e 10-20 cm (B) sob bagana de carnaúba em cobertura ou incorporada e associada ou não a NPK em referência ao solo descoberto e não fertilizado (testemunha) e uso de adubação mineral com N..	20
Figura 3. Análise de componentes principais (ACP), na profundidade de 0-10 cm com base nas variáveis avaliadas do solo nos diferentes tratamentos.....	24
Figura 4. Análise de componentes principais (ACP), na profundidade de 10-20 cm, com base nas variáveis avaliadas do solo nos diferentes tratamentos.	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono nos sistemas de manejos estudados.	14
Tabela 2. Carbono da biomassa microbiana (CBM) e quociente microbiano (qMic) nos sistemas de manejos estudados.	16
Tabela 3. Respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico (QCO ₂) nos sistemas de manejo estudados	17
Tabela 4. Densidade do solo nos sistemas de manejo estudados.....	22
Tabela 5. Macroporosidade (Map), microporosidade (Mip), porosidade total (PT) nos sistemas de manejo estudados.	23

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Carnaubeira.....	3
2.1 Cobertura morta	4
2.3 A bagana de carnaúba e seu uso agrícola	5
2.4 Efeito das coberturas mortas na temperatura e umidade.....	6
2.5 Matéria orgânica e atributos microbiológicos do solo.....	8
2.6 Efeito da cobertura morta nas propriedades físicas do solo.....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
4. Resultados e discussão	14
4.1. Atributos Microbiológicos.....	14
4.2 Respostas do solo submetido à aplicação de bagana de carnaúba.....	18
4.2.1 Umidade	18
4.2.2 Temperatura.....	20
4.3 Propriedades físicas do solo	21
4.4. Análise dos componentes principais	23
4.4.1.Profundidade: 0-10 cm	23
4.4.2.Profundidade: 10-20 cm	25
5. CONCLUSÃO.....	26
6. REFERÊNCIAS.....	27

1. INTRODUÇÃO

A bagana da Carnaúba [*Copernicia prunifera* (Miller) H.E. Moore], resíduo agroindustrial resultante da extração da cera das folhas dessa palmeira, é um material com grande potencial para uso como cobertura morta a ser empregado na agricultura, promovendo melhoria nas condições de temperatura e umidade do solo (SOUZA et al, 2016), aumento da matéria orgânica e fertilidade do solo (LUSTOSA FILHO et al., 2015), o que favorece a atividade microbiana no solo (LOU et al., 2011).

A carnaubeira é uma palmeira da família *Arecaceae*, nativa do semiárido do Nordeste brasileiro. Distribui-se principalmente nos estados do Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte (ALVES, 2008). Nesses locais a bagana é empregada como material de cobertura nos roçados para a agricultura de sequeiro (QUEIROGA et al., 2013). Resultados significativos já foram reportados em relação às características produtivas de hortaliças quando a bagana foi utilizada com substrato (ALBANO, 2017) e como material de cobertura (SILVA et al, 2014)

O uso de cobertura morta é uma prática de manejo conservacionista empregada com o objetivo de manter o solo protegido e propiciar um ambiente estável e favorável para o crescimento das plantas. Essa prática consiste na aplicação de resíduos orgânicos na superfície do solo, sendo relevante principalmente em regiões tropicais, uma vez que nesses locais predominam elevadas temperaturas, além de menores teores de umidade e conteúdo de matéria orgânica no solo (SEKHON et al., 2005).

Os benefícios a curto prazo da utilização de resíduos vegetais, tais como a bagana de carnaúba, como cobertura morta são verificados nas mudanças do regime hídrico e térmico do solo (AWE et al., 2015). Desta forma, a palhada cria um microclima favorável para os cultivos, propiciando a manutenção de umidade e a redução das flutuações de temperatura no solo em decorrência da menor interceptação solar causada pelo albedo inerente a este materiais (ZWIRTES et al., 2017; ZIBRI e al., 2015; LIU et al., 2014).

O incremento da matéria orgânica é outro benefício advindo do uso da bagana de Carnaúba (GONÇALVES et al. 2019). A matéria orgânica do solo tem importância na manutenção na produtividade do solo, devido aos processos de transformação como a mineralização dos nutrientes, absorção e retenção de água e atividade da biomassa microbiana (ARAÚJO; MELO, 2010). Assim, a manutenção ou incorporação de resíduos orgânicos na superfície do solo, forma uma camada de material vegetal

em diferentes estágios de decomposição, proporcionando fonte de energia e microclima favorável ao estabelecimento e atividade de microrganismo (YAN et al. 2020).

A utilização de coberturas mortas também afeta positivamente as características físicas dos solos, principalmente no que diz respeito ao arranjo das partículas (densidade do solo) que por sua vez define as características do sistema poroso, conforme reportado por vários autores (JORDÁN et al, 2011; KAHLO et al., 2013). Alguns estudos mostraram aumentos na porcentagem de macroporosidade e alterações na densidade e na porosidade total do solo em solos manejados com resíduos orgânicos como cobertura (QUI et al., 2020), visto que a matéria age como um agente cimentante, rearranjando e estabilizando os agregados do solo, permitindo melhor fluxo de gases via macroporos e mais eficiente retenção de água pelos microporos (ALMENDRO-CANDEL et al., 2018, RABOT et al., 2018)..

Portanto, o objetivo desse trabalho foi verificar o impacto da bagana de carnaúba no regime térmico e hídrico, atributos microbiológicos e físicos em um LATOSSOLO Vermelho Amarelo de textura franco arenosa.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Carnaubeira

A carnaubeira (*Copernícia prunifera* (Miller) H.E. Moore) é uma palmeira da família *Arecaeae*, e ocorre naturalmente no semiárido do nordeste brasileiro (LORENZI et al., 2004). Cresce, em média, 30 cm por ano, e atinge a primeira floração entre 12 e 15 anos de idade, podendo alcançar uma altura superior a 10 metros. O tronco desta palmeira é reto e cilíndrico com diâmetro entre 15 e 25 centímetros. As folhas são numerosas, podendo variar de 45 a 60 unidades por ano (ALVES, 2008), tem forma de leque (flabeliformes) e formam uma copa globosa (LORENZI et al., 2010).

Os solos ideais para o desenvolvimento da carnaubeira são os argilosos e aluviais, e que suportem alagamento prolongado durante o período chuvoso. A palmeira tolera até 3000 horas de insolação por ano (LORENZI et al., 2010; ALVES, 2008), e tal tolerância ocorre devido a formação de uma camada cerífera (cutícula) popularmente conhecida como “pó de carnaúba” que reveste as folhas, refletindo a luz, e protegendo a planta dos efeitos nocivos das temperaturas elevadas típicas dessas regiões, implicando na redução da perda excessiva de água (CARVALHO, GOMES, 2008).

No Nordeste, o corte das folhas para extração do pó da carnaúba ocorre de julho a dezembro. Essa época do ano é caracterizada pela escassez de chuvas nas regiões de ocorrência da palmeira, o que inviabiliza as atividades de produção da agricultura familiar (ALVES, 2008). Nesse período, considerado o mais crítico do ano, a carnaubeira representa uma importante fonte de ocupação e de renda para uma parcela dos trabalhadores rurais (CARVALHO, GOMES, 2017).

O pó cerífero, matéria prima para a cera, retirado das folhas da carnaubeira, é o produto de maior valor econômico da cadeia produtiva que gira em torno desta planta, que envolve ainda a exploração de outros componentes do vegetal, tais como as folhas, fibras, frutos, raízes e a bagana (ROCHA et al., 2015).

A bagana de carnaúba é um resíduo agroindustrial resultante do processo de extração do pó cerífero para obtenção da cera. Para cada 78 kg de pó extraídos das folhas são formados 10000 kg de bagana (CARVALHO, GOMES, 2008). Em 2019 a produção de pó cerífero da carnaúba no Piauí foi de 10,9 toneladas, o que resultou em 1.397.435,89 kg de bagana (IBGE, 2019), um montante significativamente alto, o

que se torna um grave problema, tendo em vista a ineficiência associada a correta deposição deste material no ambiente.

Uma das alternativas, ainda pouco difundida, para destinação da bagana é sua utilização em áreas agrícolas, sendo essa uma alternativa concernente com as práticas ambientalmente sustentáveis (CARVALHO, GOMES, 2017). Uma das justificativas para tal uso é o fato de que os solos das regiões em que esse resíduo é produzido são naturalmente pobres em matéria orgânica, sujeitos a amplo gradiente termal e limitado conteúdo de umidade (ALVES, 2008), o que implica em plantios com rendimentos reduzidos.

Pesquisas realizadas demonstraram que a aplicação da bagana de carnaúba ao solo pode fornecer nutrientes, incrementar o conteúdo de matéria orgânica aos sistemas agrícolas, reduzir amplitude térmica e condicionar a manutenção de umidade do solo por um maior intervalo de tempo maior, em relação ao solo descoberto, e ainda promover maiores produtividade de diferentes culturas (SOUSA et al., 2017, SOUSA et al., 2016, SILVA et al., 2014; ALBANO et al., 2017, QUEIROGA et al., 2002). Contudo, os resultados encontrados tanto químicos quanto físico-hídricos são incipientes, e não deixam claro como estes fatores concorrem para o desenvolvimento das plantas, outrossim, não exploram o impacto deste resíduo nos indicadores de atividade dos microrganismos do solo, tão pouco elucidam a maneira como a bagana afeta as propriedades físicas das áreas em que é aplicada.

2.1 Cobertura morta

Os solos das regiões de clima tropical são naturalmente pobres em matéria orgânica (SHARMA et al., 2005) devido às elevadas condições de temperatura e umidade que predominam nesses locais, e que acarretam a rápida degradação do estoque de carbono e nutrientes nestes ambientes, tal efeito afeta diretamente a capacidade produtiva desses sistemas (PARIHAR et al., 2019; GHOSH et al., 2012). O carbono orgânico do solo desempenha um papel essencial em processos de origem física, química e biológica nesses solos, constituindo-se em um indicador de qualidade fundamental, sendo imprescindível para a manutenção de um modelo de agricultura sustentável (ARAÚJO et al., 2016). Assim, práticas conservacionistas que visem manter ou incrementar adequado conteúdo de carbono em solos tropicais são vitais para a fertilidade, e conseqüentemente, a produtividade agrícola (GHOSH et al., 2012).

Nesse sentido, a cobertura morta torna-se uma prática viável e recomendada para solos de regiões tropicais (GHOSH et al., 2012; THOMAZZINI et al., 2015).

Coberturas mortas são materiais de origem orgânica como as palhas e outros resíduos vegetais, ou de origem sintética como os polímeros (LI et al., 2013) utilizadas na agricultura moderna como parte de um pacote de medidas conservacionistas (AKHTAR et al, 2019; CHALKER-SCOTT, 2007). No geral, são empregadas com a finalidade de fornecer ao solo mecanismos que promovam condições adequadas para o desenvolvimento dos vegetais como: redução da amplitude térmica do solo (CHEN et al., 2007), conservação de umidade (SEHKON et al, 2005), melhoria na atividade microbiana (LOU et al, 2011) e incremento ou manutenção do aporte de carbono orgânico (WANG et al.; 2015) e nutrientes (GHOSH et al., 2012).

As coberturas mortas podem ser aplicadas em superfície (AKHTAR et al, 2019) ou incorporadas (WANG et al., 2015). Alguns autores sugerem que a adição de resíduos vegetais ao solo como fertilizante pode representar, inclusive, uma redução no uso de insumos inorgânicos (CAMPIGLIA et al, 2014; AKHTAR et al., 2019).

Estudos prévios relatam que resíduos vegetais subutilizados na agricultura, tais como a palha de trigo (WANG et al., 2018), cascas de arroz (ADAK et al., 2014), resíduos de cana-de-açúcar (AQUINO et al., 2018), palha de milho (MURGA ORRILO et al., 2016), entre outros, possuem potencial de melhoria física, química e microbiológica do solo. A escolha de um tipo de resíduo em detrimento de outro depende, sobretudo, de qual será a finalidade do seu uso, da disponibilidade do material na região e de sua relação custo-benefício (JORDÁN et al., 2011). Além dos materiais já citados, sugere-se também a busca por materiais de origem regional, como a bagana de carnaúba, que já vem sendo alvo de alguns estudos científicos (SILVA et al., 2014; SOUZA et al., 2016; SOUSA et al, 2017; GONÇALVES et al., 2020).

2.3 A bagana de carnaúba e seu uso agrícola

A bagana é o resíduo resultante do processo de extração do pó cerífero das folhas desidratadas da carnaubeira (SILVA et al., 2017). Esse material é, na maioria das vezes, subutilizado após a obtenção da cera, e assim como outros resíduos originados de processos produtivos de baixa eficiência, acaba sendo disposto no ambiente (ROCHA et al., 2013). Vários trabalhos têm mostrado a importância da utilização bagana de carnaúba como substrato para mudas de hortícolas como o

tomate (SILVA JÚNIOR et al., 2014), melancia (SILVA et al., 2017b), e mudas de espécies arbóreas como o jatobá (LUSTOSA FILHO et al., 2015) e o paricá (ARAÚJO et al., 2017), com resultados que demonstram melhoria da fertilidade do solo, que convergem para o desenvolvimento de plântulas de melhor qualidade.

Pesquisa realizada por Oliveira et al. (2002) sugeriu a bagana de Carnaúba como material de cobertura a ser utilizado na fruticultura nordestina, tendo em vista sua capacidade de proteção e resfriamento do solo. Ademais, Queiroga et al. (2002) avaliando o efeito de diferentes coberturas mortas sobre características de frutos de pimentão observaram que houve influência positiva nos parâmetros: diâmetro dos frutos, número de frutos por planta, peso dos frutos e produção de frutos de pimentão em resposta à cobertura do solo com bagana.

Estudo realizado por Silva et al. (2014) avaliando níveis de aplicação de bagana de carnaúba sobre o rendimento de milho preconizaram que o aumento das doses de bagana sobre o solo influenciou positivamente o número total de espigas verdes, número e peso de espigas comerciais e o rendimento de grãos, sugeriram ainda que 8 t ha^{-1} de bagana seria a quantidade ideal a ser utilizada para prover adequado desempenho agrônômico para plantas de milho.

Por sua vez, Sousa et al. (2017) estudando parâmetros produtivos de mamoeiros submetidos à fertilização com diferentes doses de cinza vegetal e cobertura morta de bagana de carnaúba, verificaram que quando da aplicação de bagana associada à cinza vegetal houve tendência de aumento dos níveis de produtividade do mamoeiro, sendo esses níveis significativamente superior aos encontrados quando se utilizou cinzas de maneira isolada. Os autores atribuem esse resultado ao processo de mineralização inerente às coberturas mortas, pois a partir desse processo há disponibilização de nutrientes para a solução do solo, elevando a fertilidade deste, e contribuindo significativamente para o desenvolvimento dos vegetais.

2.4 Efeito das coberturas mortas na temperatura e umidade

O fluxo de matéria e energia existentes entre solo e atmosfera é determinado pelas alterações de temperatura as quais o solo está condicionado (LOZANO-PARRA et al., 2018). Tais alterações, por sua vez, são determinadas pela fração de radiação solar incidente sobre a superfície do solo que é absorvida. Essa absorção é tão maior

quanto menor for a capacidade de reflectância, notadamente o albedo, da superfície na qual a radiação incide (NOVAK et al., 2000).

O tipo de manejo adotado, se convencional ou conservacionista, impacta na amplitude térmica deste sistema (WU et al., 2014; AWE et al., 2015), e conseqüentemente na sua capacidade de manutenção de umidade e promoção de condições mínimas, tais como um microclima adequado, para o desenvolvimento dos microrganismos e plantas (ALMEIDA et al., 2009. CHEN et al., 2014).

Nos sistemas convencionais de cultivo o solo permanece descoberto durante todo o ciclo reprodutivo da cultura, estando totalmente exposto às condições do ambiente, (SILVA et al., 2009). Isso, em um curto prazo, pode acarretar a estas limitações físicas-hídricas como elevações no gradiente de temperatura, com conseqüente decréscimo do teor de umidade no solo em razão da depleção acelerada (ZIBRI et al., 2015; KADER et al., 2017), principalmente em regiões semiáridas, onde sabidamente o regime pluviométrico é limitado e irregular (JABRAN, 2019), influenciando diretamente na produtividade dos vegetais. Zhao et al. (2014) avaliando ao longo de três anos o efeito da aplicação de coberturas mortas sobre a umidade, salinidade e crescimento de girassóis, concluíram que durante o estágio vegetativo dessas plantas o tratamento cujo solo encontrava-se descoberto foi o que menos preservou água em seu interior.

De maneira semelhante, Odjongo (2008) avaliando o efeito de sistemas de preparo e cobertura do solo nas condições microclimáticas, concluiu que na profundidade avaliada de 0-15 cm os tratamentos que permaneceram sem qualquer tipo de cobertura foram mais afetados pelos processos evaporativos, em razão de maiores gradientes de temperatura, e, portanto, resguardaram menor conteúdo de umidade no solo. Resultado contrastante foi encontrado por Gacheru et al. (2018) ao verificar o efeito das taxas de palha de milho na umidade do solo, temperatura e rendimento da batata em três locais com condições agroecológicas variáveis. No referido trabalho, a palha não impactou significativamente o conteúdo de água no solo em dois dos locais avaliados, segundo os autores isso ocorreu em razão do grande volume de chuva que precedeu o período de avaliação. De fato, as coberturas mortas, via de regra, têm seu efeito mais pronunciado em períodos de menores índices pluviométricos (SEKHON et al., 2005).

Por sua vez, os sistemas conservacionistas de cultivo, a exemplo das coberturas mortas, reduzem ao mínimo a perturbação no solo, além de protegê-lo das

intempéries climáticas, pois há a manutenção de uma camada de resíduos vegetais sobre este (RICIERI et al., 2005). Assim, temperatura e umidade são melhor reguladas em razão da atenuação dos efeitos da radiação luminosa sobre o solo (KADER et al., 2017). Sekhon et al. (2005) avaliando o efeito da palhada de trigo na temperatura de um solo cultivado com soja concluíram que esta cobertura reduziu significativamente a temperatura máxima registrada até a profundidade de 50 cm. As reduções de temperatura registradas ao longo de dois anos variaram de 1,4 °C a 12,7 °C.

Kader et al. (2017) investigando os efeitos de materiais orgânicos e inorgânicos no regime hídrico em solo cultivado com soja em condição de sequeiro, verificaram que quando a palha de arroz foi utilizada como cobertura morta esta proporcionou máxima umidade no solo até 15 cm de profundidade. Já Liu et al. (2014) verificaram uma diminuição da temperatura na ordem de 1,5 °C em tratamentos mantidos com resíduos vegetais em sua superfície. Os autores atribuem este resultado ao albedo e à menor condutividade térmica da palha, que reduz a entrada de radiação luminosa no solo, e, portanto, atenua o aumento da temperatura naquele ambiente.

Silva et al. (2019) avaliando a viabilidade técnica e econômica de diferentes níveis de irrigação associados a coberturas do solo na produtividade de tomate cereja concluíram que a bagana de carnaúba promoveu incremento na produtividade dos frutos e concomitantemente contribuiu para uma produtividade de uso da água de 41% quando comparado ao solo descoberto. O uso de palha como cobertura do solo reflete parte da energia solar que sobre ela incide, reduzindo consideravelmente as trocas gasosas entre o solo e a atmosfera, proporcionando assim menor perda de umidade do solo, o que maximiza o uso da água pelas plantas (SOUSA et al. 2017; LIU et al., 2014)

2.5 Matéria orgânica e atributos microbiológicos do solo

Os indicadores biológicos têm um grande potencial para uso em estudos relacionados à qualidade do solo, porque microrganismos são uma fonte e depósito de nutrientes em todos os ecossistemas, além de participar ativamente de muitos processos benéficos, como a formação de húmus, solubilização de nutrientes para plantas e degradação de compostos persistentes aplicados ao solo (COSTA et al., 2015).

A matéria orgânica do solo, por sua vez, tem importância na manutenção na produtividade do solo, devido aos processos de transformação como a mineralização

dos nutrientes, absorção e retenção de água e atividade da biomassa microbiana (ARAÚJO; MELO, 2012). Assim, a manutenção ou incorporação de resíduos orgânicos na superfície do solo, forma uma camada de material vegetal em diferentes estágios de decomposição, proporcionando fonte de energia e microclima favorável ao estabelecimento e atividade de microrganismo (ARAÚJO, MONTEIRO, 2007; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Conforme Araújo et al. (2012), os indicadores biológicos do solo, que incluem a biomassa microbiana, a respiração microbiana, a atividade enzimática, o quociente microbiano e o quociente metabólico, são bastante utilizados para o monitoramento da qualidade do solo no que se refere não apenas à ciclagem dos nutrientes, como também na estimativa da capacidade do solo para o crescimento vegetal. Segundo Araújo e Monteiro (2007), estes indicadores podem fornecer informações sobre as tendências de mudanças do solo que estão ocorrendo em curtos e longos períodos.

O Carbono (C) associado à biomassa microbiana é o componente mais ativo da fração lábil, pois transforma e transfere energia e nutrientes para os demais componentes do ecossistema, contribui com um percentual de 2 a 5% do carbono orgânico do solo e é considerado o principal indicador da sustentabilidade de agroecossistemas e da qualidade ambiental (DE-POLLI; GUERRA, 2008).

A CBM é a parte ativa da matéria orgânica do solo, e constitui-se num indicador de qualidade largamente utilizado para a averiguação de pequenas mudanças impostas pelas alterações no uso e manejo empregados neste sistema. Alterações nessa variável refletem a quantidade e qualidade das fontes de carbono existentes ou adicionadas ao solo (WANG et al., 2020, ARAÚJO, MELO, 2010).

2.6 Efeito da cobertura morta nas propriedades físicas do solo

As propriedades físicas do solo constituem-se em indicadores adequados para verificação das condições de uso e manejo empregadas em uma determinada área. Indicadores tais como densidade do solo e porosidade (macroporosidade, microporosidade e porosidade total) são amplamente utilizados por possuírem respostas relativamente rápidas, confiáveis e sem grandes variações (RAMOS et al., 2011).

A maneira como os poros estão distribuídos em relação às suas dimensões é primordial para o adequado desenvolvimento de vegetais e microrganismos no solo. Além do que, essa caracterização auxilia na predição da capacidade de um solo em

realizar as trocas gasosas, infiltrar e armazenar água, e, por conseguinte disponibilizá-la para as plantas (JIN et al., 2020). Para os autores, esse sistema poroso é constituído de macroporosidade e microporosidade, enquanto o primeiro é responsável pela difusão de gases entre solo e atmosfera, o segundo responde pela retenção de água que é infiltrada ao longo do perfil.

O manejo convencional envolve desarranjo das partículas e por conseguinte desestruturação do solo em decorrência das atividades de revolvimento, ciclos contínuos de umedecimento e secagem, impactos das gotas de chuva sobre a superfície e movimentação intensa de maquinário agrícola. Por outro lado, a utilização de coberturas mortas favorece a redução da densidade do solo, aumento da macro e microporosidade, e ainda promove estabilidade dos agregados (KADER et al., 2017; KAHLON et al., 2013).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental do Colégio Técnico de Teresina (CTT), localizado na cidade de Teresina, Piauí ($5^{\circ}2'58,48''$ S; $42^{\circ}46'57,13''$ O) e altitude 86 m (Figura 1). O clima da região é classificado como subúmido seco (THORNTHWAITE E MATHER, 1955), com precipitação pluviométrica média de $1.342,4 \text{ mm ano}^{-1}$. A média anual de temperatura do ar máxima é de $33,9^{\circ}\text{C}$, a mínima de $22,3^{\circ}\text{C}$ e a média de $28,1^{\circ}\text{C}$. A umidade relativa do ar média anual é de 69,6% e a evapotranspiração média anual é de $4,7 \text{ mm dia}^{-1}$.

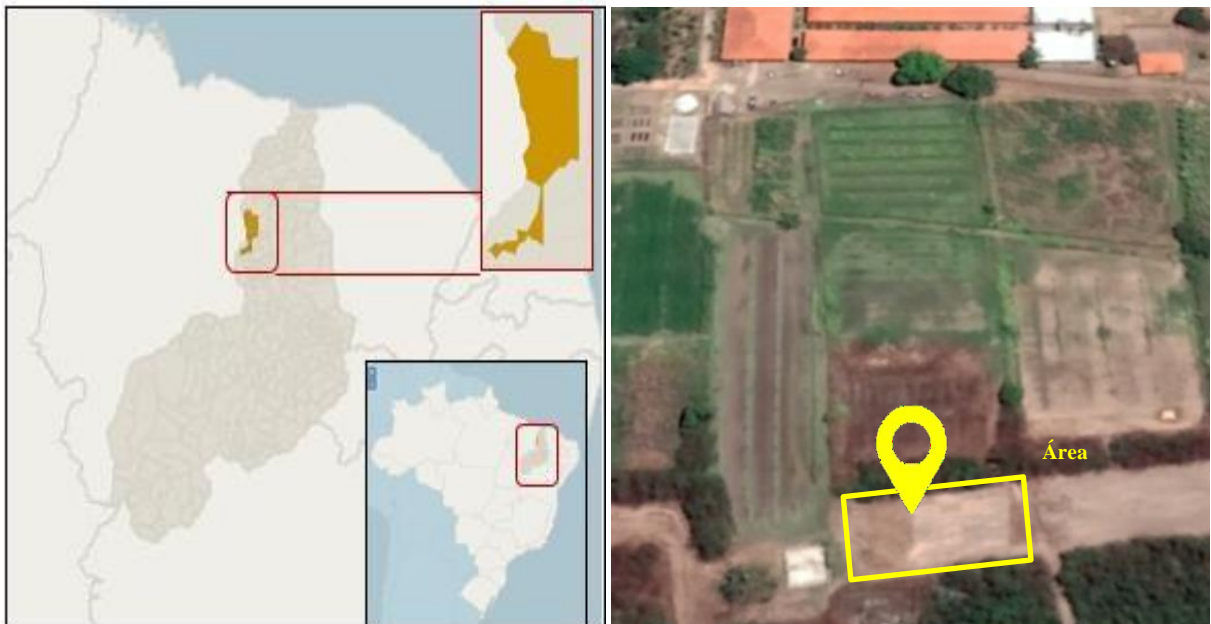


Figura1. Mapa de localização geográfica da área experimental. Teresina, PI. 2021. Fonte: Google Earth Pro.

A época chuvosa compreende os meses de dezembro a maio, no entanto, os meses de fevereiro, março e abril formam o trimestre com maior volume de precipitações do ano (BASTOS; ANDRADE JÚNIOR, 2016). O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO AMARELO distrófico apresentando 800g kg^{-1} de areia, 110g kg^{-1} de silte e 90g kg^{-1} de argila, caracterizando uma classe textural franco arenosa.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições para o plantio de feijão Caupi. Os tratamentos consistiram em: a) 10 t ha^{-1} bagana de carnaúba na superfície do solo (BCSS); b) 10 t ha^{-1} bagana de carnaúba incorporada ao solo (BCINC); c) 10 t ha^{-1} bagana de carnaúba na superfície

do solo + NPK (BCSS + NPK); d) 10 t ha⁻¹ bagana de carnaúba incorporada ao solo + NPK (BCINC + NPK); e) NPK (100 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio, 180 kg ha⁻¹ superfosfato triplo e 86 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio); e f) Testemunha (T).

Com o auxílio de um trado holandês foram coletadas amostras simples de solo, no final do experimento, em cada parcela para as profundidades de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, com quatro repetições para cada profundidade, objetivando a formação de amostras compostas. Para as análises microbianas, as amostras coletadas foram cuidadosamente acondicionadas em sacos plásticos com respirador e mantidas em câmara fria a ± 4 °C, até realização das análises.

O carbono orgânico total (COT) foi determinado a partir da oxidação do material orgânico com a utilização de dicromato de potássio em meio ácido como agente oxidante, nesse caso utilizou-se o ácido sulfúrico concentrado (Walker-Black). O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi determinado pelo método da irradiação-extração (ISLAM; WEIL, 1998). A partir da relação dos valores do CBM e do conteúdo de COT (Carbono orgânico total), foi calculado o quociente microbiano (qMIC) por meio da equação 1:

$$qMIC = \frac{CBM}{COT} * 100 \dots\dots\dots(\text{equação 1})$$

A respiração do solo foi estimada pela quantificação do CO₂ liberado durante sete dias de incubação do solo em sistema fechado. O CO₂ produzido foi capturado em solução de NaOH (1 mol L⁻¹) e posteriormente titulado com HCL (0,05 mol L⁻¹), conforme ALEF & NANNIPIERI, (1995). O quociente metabólico que representa a respiração microbiana por unidade de biomassa (ANDERSON e DOMSCH, 1993) foi determinado e expresso em mg C-CO₂ g Cmic.h⁻¹ (equação 2).

$$RBS = \frac{C-CO_2}{C-BMS} * 100 \dots\dots\dots(\text{equação 2})$$

As análises físicas, foram realizadas conforme Donagema et al.,(2011). Foram coletadas amostras indeformadas de solo utilizando-se anéis de Kopecky. A densidade de partículas (Dp) foi avaliada pelo método do balão volumétrico. A porosidade total foi calculada conforme a equação 3 a seguir:

$$Pt = \left(\frac{1-Ds}{Dp} \right) * 100 \dots\dots\dots(\text{equação 3})$$

Onde:

Ds = densidade do solo (mg m^{-3});

Dp = densidade de partículas (mg m^{-3}).

A partir dos volumes conhecidos e das massas das amostras saturadas e depois de colocadas sob a mesa de tensão onde foi retirada a água dos macroporos (Map) (poros com diâmetro > 0,05 mm) com a obtenção dos valores de massa antes e depois das amostras serem levadas à estufa foram obtidos os valores de macro e microporos (Mip).

A temperatura do solo foi medida em °C com o auxílio de um termômetro digital. Para a determinação da umidade do solo foram realizadas coletas de três amostras simples em cada parcela. As amostras foram submetidas ao método termogravimétrico, que consiste em pesar o solo úmido (MU) e em seguida secá-lo em estufa a 105–110 °C por 24 horas ou até atingir peso constante, e após esse período, determinar sua massa seca (MS). Para cada profundidade avaliada, calculou-se a média de peso de cada uma das três amostras simples de solo antes e após processo de secagem em estufa. A umidade foi calculada pela equação 4:

$$U = \frac{Mu-Ms}{Ms} * 100 \dots\dots\dots(\text{equação 4})$$

em que: U = umidade do solo (kg kg^{-1}); Mu = massa de solo úmido (g); Ms = massa de solo seco (g).

Inicialmente, os dados foram analisados pelo teste de Shapiro-Wilk para avaliar a normalidade. Em seguida, submetidos à análise de variância (ANOVA) precedida pelo teste F, sendo considerado um nível mínimo de significância de 5% de probabilidade. Para comparar as médias de cada tratamento, foi utilizado o teste Scott Knott ($p < 0,05$). Foram realizadas também técnicas multivariadas de Análises de Componentes Principais (ACP) para o entendimento de como as variáveis interagiram ao mesmo tempo.

Como os dados são expressos em unidades de medidas diferentes, estes foram padronizados para assegurar que todas as variáveis contribuam igualmente para o modelo independente da escala. Todas as análises foram processadas no programa R (R Core Team 2016).

4. Resultados e discussão

4.1. Atributos Microbiológicos

Os tratamentos que incluíram bagana de carnaúba e NPK contribuíram para um aumento nos teores de carbono orgânico total (COT) no solo na profundidade de 0-10 cm (Tabela 1). Pesquisa realizada por Blanco-Canqui & Lal avaliando impactos de adição de palha de trigo (*Triticum aestivum* L.) no solo durante 10 anos encontraram valores significativos de COT apenas na camada superficial. Estudos realizados por Oliveira et al. (2018) revelaram que a análise da composição química da bagana de carnaúba mostrou teor de carbono orgânico de 161,6 g kg⁻¹, que é considerado elevado. Ainda segundo os mesmos autores, de acordo com a Instrução Normativa DAS/MAPA 25/2009, esse resíduo apresenta teores de nutrientes que permitem que o mesmo seja utilizado como adubo orgânico.

Tabela 1. Carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono nos sistemas de manejos estudados.

Tratamento	COT (g kg ⁻¹)		Estoque Carbono (Mg C.ha ⁻¹)		Total Estoque de carbono
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	
T	1,69 b	1,39 a	29,25 c	24,53 b	53,39
NPK	2,11 a	1,66 a	32,57 c	28,05 b	62,64
BCINC	2,46 a	1,72 a	39,74 b	28,09 b	66,83
BCSS	2,69 a	1,88 a	45,38 a	31,41 a	73,58
BCINC+NPK	2,46 a	1,91 a	38,48 b	30,57 a	67,82
BCSS+ NPK	2,95 a	1,99 a	47,13 a	32,26 a	79,24

T=Testemunha; NPK= Adubação com NPK; BCIN = 10t ha⁻¹ incorporado ao solo; BCSS = 10 t ha⁻¹ aplicado na superfície do solo; BCIN+NPK = 10t ha⁻¹ incorporado ao solo + NPK; BCSS+NPK = 10t ha⁻¹ aplicado na superfície do solo + NPK. Letras diferentes na coluna indicam diferença significativa (P<0,05) entre os tratamentos.

A bagana de Carnaúba é um material rico em frações de carbono de maior densidade tais como os compostos ligninicos e os polifenóis, que possuem cadeias carbônicas complexas, o que torna a bagana um resíduo com elevada relação C/N (GOMES et. al. 2009) implicando em retardo no seu processo de decomposição, independentemente da forma de aplicação deste material ao solo, se em superfície ou incorporado. Pesquisa realizada por Santoja et al. (2015) mostram que quando a relação C/N no resíduo orgânico é superior a 30, há inicialmente predomínio da imobilização de nutrientes e o tempo de decomposição só se intensifica depois dos 60 dias. Por sua vez, Souza et al. (2018) concluiu que a cobertura morta com palha

de sorgo com alta relação C/N aplicada no solo foi eficiente em aumentar o teor de carbono orgânico do solo durante os quatro meses do ciclo da cultura. Neste estudo observou-se incrementos no conteúdo desta variável no segundo ano de utilização deste resíduo.

No entanto, os resultados mostram que a aplicação da palhada deve ser realizada em conjunto com a adubação nitrogenada, uma vez que, no geral, as palhas possuem uma concentração diminuta de nitrogênio o que resulta em desequilíbrio da relação C/N interna dos microrganismos decompositores, que buscando ajustar essa relação, inicialmente imobilizam o N existente na palhada e na solução do solo (SANTOS et al., 2012, CHEN et al., 2014).

Esta imobilização de N incorre na persistência da bagana no solo em um estágio primário de decomposição por um período mais longo em relação àquele verificado em condições normais (C/N <30) (JIN et al., 2020), pois neste momento a mineralização é quase nula. Desta forma o COT só seria incrementando de maneira significativa, em um intervalo de dois a cinco anos, quando as necessidades de nitrogênio por parte dos microrganismos fossem atendidas e mantidas, e o processo de mineralização voltasse a predominar (GUO et al., 2014).

Para o estoque de carbono, os maiores valores foram constatados nos tratamentos com adição de bagana na superfície do solo isolado ou associado com NPK na camada superficial. Na subsuperfície, além desses, o tratamento BCIN + NPK mostraram os maiores valores. Por outro lado, os tratamentos T e NPK mostraram valores bem abaixo dessa variável sobretudo na camada superficial. Considerando os tratamentos T e NPK como referência, verificou-se um aumento cerca de 15 Mg ha⁻¹ no solo no tratamento BCSS + NPK que mostrou os maiores valores dessa variável sobretudo na camada superficial.

Isso mostra a eficiência desse resíduo em incrementar o estoque de carbono orgânico no solo em um curto período de tempo em áreas intensamente cultivadas, visto que antes do experimento esta área já vinha sendo utilizada há cerca de 20 anos com manejo convencional com a utilização de implementos e com cultura anuais. Esse manejo contribuiu para a redução dessa variável principalmente em função do aumento da atividade microbiana, causado por melhores condições de aeração, temperaturas mais elevadas e alternância mais frequente de umedecimento e secagem do solo, pelo uso contínuo de implementos, pelas queimadas e perdas causadas pela própria erosão (FREITAS et al., 2018).

Em geral, houve incrementos nos valores de carbono da biomassa microbiana (CBM) quando adicionou-se bagana de carnaúba isolada ou associada ao NPK, na camada de 0-10 cm. Na camada subsuperficial os tratamentos com aplicação do resíduo em superfície mostraram maiores valores (Tabela 2). A deposição de resíduos vegetais ao solo estimula a biomassa microbiana, acarretando elevação da quantidade de microrganismos e de sua atividade, visto que além de aumentar a disponibilidade de substrato, tais resíduos determinam condições adequadas no solo aos microrganismos, quais sejam, menor variação térmica e maior conservação de umidade (JIN et al, 2020; KADER et al., 2019). Como o CBM é reconhecido como um indicador chave da qualidade do solo, e em geral está associado à quantidade e qualidade das fontes de carbono (ARAÚJO, MELO, 2010), os resultados verificados sugerem que a aplicação da bagana disponibiliza matéria orgânica aos microrganismos do solo após a aplicação contínua desse resíduo.

Tabela 2. Carbono da biomassa microbiana (CBM) e quociente microbiano (qMic) nos sistemas de manejos estudados.

Tratamentos	CBM (g kg ⁻¹)		qMIC (%)	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
T	144, 54 b	134,04 b	0,86 a	0,96 a
NPK	190,91 b	155,45 b	0,93 a	0,93 a
BCINC	248,18 a	188,18 b	1,00 a	1,09 a
BCSS	272,72 a	193,63 a	1,01 a	1,02 a
BCINC+NPK	286,36 a	214,08 b	1,16 a	1,12 a
BCSS+ NPK	354,54 a	260,45 a	1,20 a	1,30 a

T=Testemunha; NPK= Adubação com NPK; BCIN = 10t ha⁻¹ incorporado ao solo; BCSS = 10 t ha⁻¹ aplicado na superfície do solo; BCIN+NPK = 10t ha⁻¹ incorporado ao solo + NPK; BCSS+NPK = 10t ha⁻¹ aplicado na superfície do solo + NPK. Letras diferentes na coluna indicam diferença significativa (P<0,05) entre os tratamentos.

Na profundidade de 10-20 cm, apenas o tratamento BCSS + NPK resultou em incremento de CBM. Em materiais com alta relação C/N, sofrem decomposição mais lenta, visto eu essa baixa disponibilidade de N prejudica o desenvolvimento da cultura posterior pela competição entre biomassa microbiana e raízes das plantas. Isso porque o N presente nesse resíduo não é suficiente para que haja decomposição da palhada, tornando-se limitante, ocorrendo a imobilização microbiana desse e de outros nutrientes no solo, o que, apesar de ser por um período curto, torna-os indisponíveis para as plantas. A aplicação do nitrogênio poder· reduzir este efeito durante a decomposição dos resíduos de alta relação C/N pela biomassa microbiana,

visto que quando o nitrogênio é aplicado junto com a palha, este assume o papel de suplemento nutricional, promovendo o aumento da atividade microbiana de decomposição dos resíduos vegetais (ZHANG et al, 2021; WANG et al. 2020).

Nesta pesquisa, o qMIC não diferiu entre os tratamentos nas duas camadas do solo. No entanto, os valores encontrados em todos os tratamentos em que se utilizou bagana giraram acima de 1% o que demonstra uma certa estabilidade do ambiente. Para Silva et al. (2012) valores de qMIC menores que 1% ocorrem em função a possíveis fatores limitantes à atividade da biomassa microbiana.

Os valores de RBS para os tratamentos em que se utilizou bagana de carnaúba não diferiram estatisticamente do controle, tanto de 0-10 cm quanto de 10-20 cm de profundidade (Tabela 3). No entanto, na avaliação de atividade respiratória devemos ter cuidados na interpretação dos resultados, visto que os valores de respiração podem ser resultantes de acúmulo de matéria orgânica rica em frações lábeis (carboidratos, compostos nitrogenados e a própria biomassa microbiana e seus metabólitos) à superfície do solo, suscetível à decomposição.

Por outro lado, a respiração dos microrganismos pode ser também reflexo de um consumo intenso de C oxidável pela população microbiana para a sua manutenção, em circunstâncias em que a biomassa microbiana encontre-se sob algum fator de estresse. Daí a importância de se considerar a taxa de respiração por unidade de biomassa, no caso o qCO₂, em estudo de qualidade de solos, pois, em alguns casos, não são detectadas diferenças entre diferentes manejos de solo quando se avalia apenas a respiração.

Tabela 3. Respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico (qCO₂) nos sistemas de manejo estudados

Tratamentos	Respiração ($\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ solo dia}^{-1}$)		qCO ₂ ($\mu\text{g C-CO}_2 \mu\text{g}^{-1} \text{C-BMS h}^{-1}$)	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
T	126,45 a	123,67 a	0,91 a	0,94 a
NPK	123,80 a	116,39 a	0,65 b	0,78 a
10BCIN	123,81 a	120,76 a	0,51 c	0,66 b
10BCSS	130,22 a	122,09 a	0,49 c	0,58 b
10BCIN + NPK	126,97 a	121,08 a	0,46 c	0,64 b
10BCSS + NPK	119,42 a	128,24 a	0,34 c	0,50 b

T=Testemunha; NPK= Adubação com NPK; 10BCIN = 10t ha⁻¹ incorporado ao solo; 10BCSS = 10 t ha⁻¹ aplicado na superfície do solo; 10BCIN+NPK = 10t ha⁻¹ incorporado ao solo + NPK; 10BCSS+NPK = 10t ha⁻¹ aplicado na superfície do solo + NPK. Letras diferentes na coluna indicam diferença significativa (P<0,05) entre os tratamentos.

Os valores de qCO_2 obtidos para os tratamentos que incluíam a bagana de Carnaúba nas duas profundidades foram significativamente menores. O tratamento BCSS+NPK foi o que expressou menores níveis de qCO_2 , com uma redução de 63% (0-10 cm) e 47% (10-20 cm) em relação à testemunha (T). Isso mostra um ambiente com menor grau de distúrbio ou de estresse, onde há um superávit de produção orgânica em relação à respiração, conforme a teoria de “Desenvolvimento Bioenergético dos Ecossistemas” Odum (1969), que enfatiza que os microrganismos podem variar muito sua taxa metabólica de reposição, dependendo das condições ambientais. Ao contrário, comunidades sob condições desfavoráveis tendem a ter valores de qCO_2 mais elevados, refletindo no maior influxo de energia (carbono) por meio da biomassa microbiana do solo (LACERDA et al., 2013).

Portanto, uma vez que o qCO_2 indica quanto de carbono foi perdido para a atmosfera via respiração microbiana (CUNHA et al, 2011), valores diminutos desta variável sugerem que a biomassa avaliada foi eficiente quanto à utilização de carbono e energia e onde há excedente de produção orgânica em relação à respiração. Os menores valores dessa variável observados nos tratamentos em que houve adição de bagana, se devem, em parte, aos maiores teores de COT verificados em tais tratamentos, e que seria o fator estresse na testemunha. Há uma correlação positiva entre o COT disponível no solo, a biomassa microbiana e o qCO_2 , de modo que, quando há maior disponibilidade de carbono no solo, os microrganismos utilizam este nutriente como fonte de energia para suas atividades de ciclagem de nutrientes e crescimento, incorporando este C em seus tecidos, o que resulta em menores perdas de CO_2 para a atmosfera (XU et al, 2008).

4.2 Respostas do solo submetido à aplicação de bagana de carnaúba

4.2.1 Umidade

Na figura 2 encontram-se os valores de umidade durante a condução do experimento, na qual verifica-se que os tratamentos que receberam a bagana de carnaúba mostraram maior umidade ao longo do experimento. Por outro lado, os tratamentos sem nenhuma cobertura apresentaram menores valores nessa variável provavelmente em função da textura arenosa desse solo e da ausência do resíduo para atenuar os efeitos da radiação solar na evaporação da água.

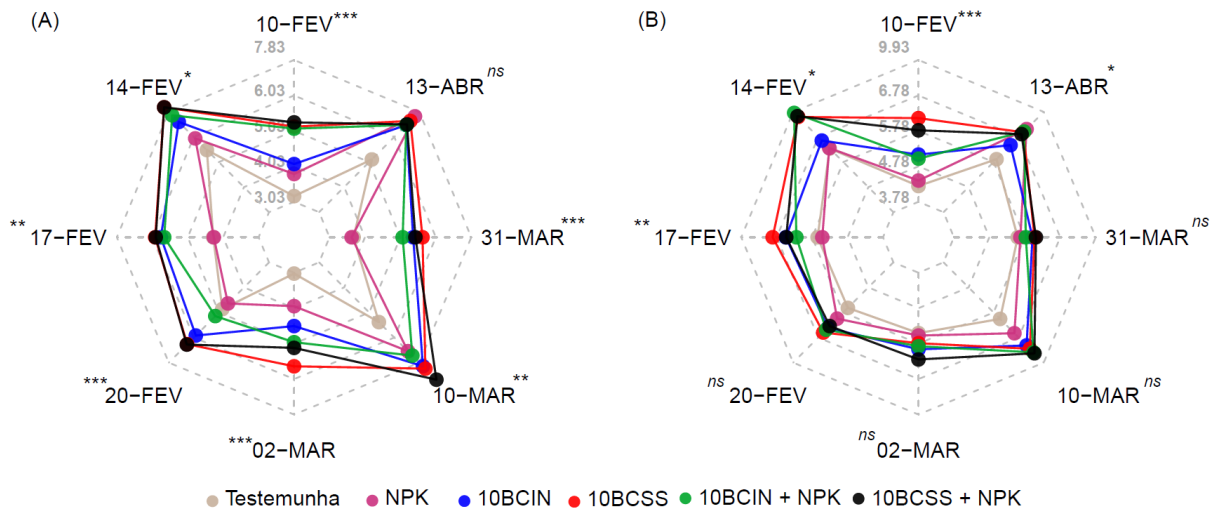


Figura 1. Umidade do solo nas profundidades de 0-10 cm (A) e 10-20 cm (B) sob bagana de carnaúba em cobertura ou incorporada e associada ou não a NPK em referência ao solo descoberto e não fertilizado (testemunha) e uso de adubação mineral com NPK. A linha cinza clara tracejada mostra escala de variação média da variável. ns, não significativo; *, $p < 0,05$; **, $p < 0,01$; ***, $p < 0,001$.

De modo geral, os teores de umidade no solo aumentaram com a profundidade. Na camada compreendida entre 0 e 10 cm os níveis de umidade mantiveram-se em grande parte das observações abaixo de 8%, enquanto na camada de 10-20 cm, esses valores situaram-se em torno de 10%. Os tratamentos BCSS e BCSS+NPK foram os que atingiram valores mais elevados de umidade, o que pode ser explicado pela maior proteção que este material confere ao solo.

Os resultados evidenciaram eu quando o resíduo é disposto na superfície do solo atua como uma barreira física, preservando maior conteúdo de água disponível até a profundidade de 20 cm. Isso indica que a bagana de carnaúba, tal como outras palhas, condiciona microclima favorável ao uso da água disponível de maneira mais eficiente e por um período superior de tempo quando comparado ao solo em este material foi incorporado ou não utilizado (SILVA et al., 2019; AKHTAR et al, 2019).

Tal resultado corrobora Oliveira et al. (2002) que em um estudo de avaliação do sistema de produção da fruticultura nordestina preconizava o uso da bagana como material de cobertura, tendo em vista sua capacidade de resfriamento do solo, minimizando as trocas gasosas entre este e a atmosfera.

Pesquisa realizada num solo de textura areia franca com a utilização de cobertura morta de bagana de carnaúba, concluiu que esse resíduo promoveu uma

maior capacidade de retenção de água, propiciando a manutenção da umidade por maior tempo (SOUSA et al., 2017). Ademais, Souza et al. (2016) mostrou que o uso de cobertura de solo com a bagana de carnaúba, foi eficiente em reter água no solo, como também na inibição do surgimento de plantas daninhas.

Na camada de 10-20 cm os valores de umidade também diferiram entre si, mas em um menor número de observações. Para boa parte dos resultados não houve significância, e isso pode ter ocorrido em razão dos eventos de precipitação ocorridos nos dias anteriores às datas das coletas de solo, que podem ter mascarado o efeito da bagana (GACHERU et al. 2018). De modo que o efeito desse resíduo como condicionador de umidade é melhor verificado em condições de veranico (KADER et al, 2019; LI et al, 2013).

4.2.2 Temperatura

A utilização de bagana de carnaúba, em superfície e incorporada, reduziu significativamente ($p < 0,001$) a amplitude térmica do solo até a profundidade de 20 cm (figura 2), como resultado de uma mudança no balanço de radiação provocada pelo manejo. Portanto, como a temperatura do solo é uma propriedade dinâmica, a maneira como esta é afetada, positivamente ou negativamente, pelas oscilações da temperatura do ar ao longo dos dias está fortemente correlacionada com o tipo de manejo adotado em uma determinada área (AWE et al., 2015).

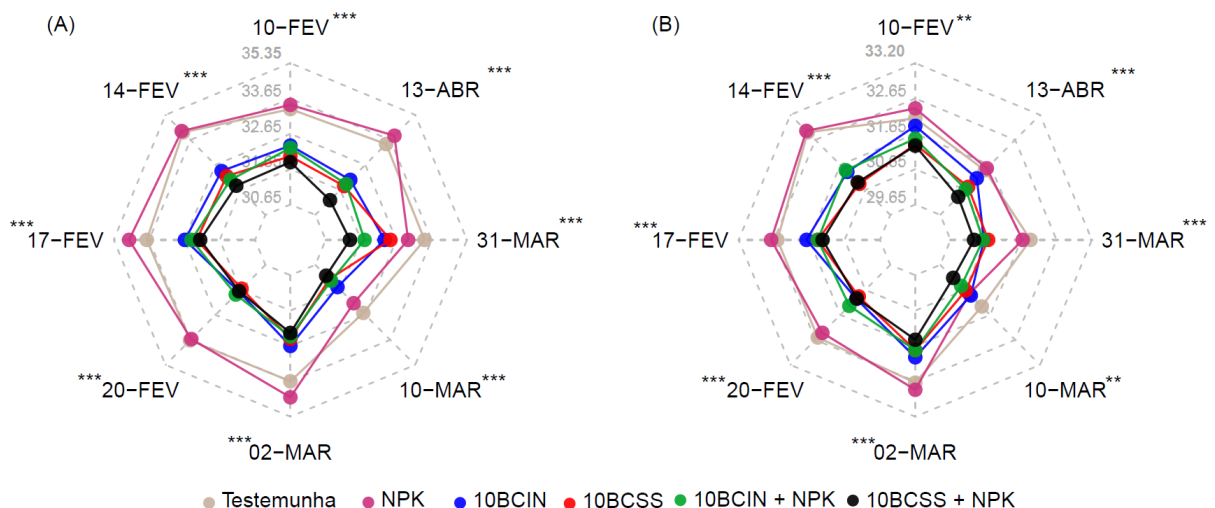


Figura 2. Temperatura do solo nas profundidades de 0-10 cm (A) e 10-20 cm (B) sob bagana de carnaúba em cobertura ou incorporada e associada ou não a NPK em referência ao solo descoberto e não fertilizado (testemunha) e uso de adubação mineral com N. A linha cinza clara tracejada mostra escala de variação média da variável. **, $p < 0,01$; ***, $p < 0,001$.

Nesta pesquisa, a bagana contribuiu positivamente para a atenuação nos níveis de absorção da radiação pelo solo, que dessa forma manteve-se em condições microclimáticas favoráveis ao crescimento dos microrganismos, e desenvolvimento das plantas ao longo do período de avaliação (CHEN et al., 2007; GARECHU et al. 2018).

Para a profundidade de 0,0-0,1 m, houve redução na temperatura do solo de até 3 C °. O menor valor verificado nesta profundidade (30,6 ° C) foi registrado nos tratamentos cuja bagana permaneceu em superfície (BCSS+NPK e BCSS), enquanto a maior temperatura (33,6 ° C) esteve associada aos tratamentos controle (T e NPK). Este resultado está de acordo com Liu et al. (2014) que ao avaliarem ao longo de dois anos as oscilações de temperatura do solo submetido à cobertura de palha de arroz e de trigo em um pomar de citros, concluíram que tais coberturas haviam resultado em uma redução de 1,5° C para esta variável.

A bagana de carnaúba reflete parte da radiação solar que sobre ela incide, além disso possui menor condutividade termal em razão dos espaços porosos formados entre o amontoado de palhas depositadas no solo, o que pode explicar o eficiente desempenho deste material como isolante térmico. Outrossim, aqueles solos que forma mantidos sem qualquer tipo de cobertura (T e NPK) ou em cuja bagana foi incorporada (BCINC e BCIN+NPK), absorveram maior quantidade de radiação solar ao longo dia, apresentando assim temperaturas significativamente mais elevadas (AWE et al., 2015, LIU et al, 2014; SOUZA et al, 2016).

Na camada compreendida entre 10-20 cm a redução de temperatura observada para os tratamentos BCSS+NPK e BCSS em relação aos controles (T e NPK) foi de 1,5° C, contudo o valor máximo registrado para esta profundidade foi 2 C° menor (32 ° C) que o registrado de 0-10 cm (34 ° C). A temperatura do solo é mais elevada na superfície, principalmente nos primeiros cinco centímetros (RICIERI et al, 2005), razão pela qual as diferenças nas médias de temperatura foram reduzidas em subsuperfície.

4.3 Propriedades físicas do solo

Os tratamentos nos quais houveram aplicação de bagana de carnaúba verificou-se redução na Ds nas duas profundidades (tabela 4). Pesquisa realizadas por Yang et al. (2018), revelou que a aplicação combinada de palha de milho com adubo químico exerceu maior efeito na melhoria da estrutura do solo e na redução da

densidade potencializando o armazenamento de água. A Ds refere-se ao arranjo das partículas do solo, e por conseguinte define as características do sistema poroso (ALMENDRO-CANDEL et al., 2018), qualquer alteração significativa neste sistema afeta o valor da densidade do solo, como foi possível observar nesse estudo.

Tabela 4. Densidade do solo nos sistemas de manejo estudados

Tratamentos	Densidade do solo (g kg ⁻¹)	
	0-10 cm	10-20 cm
T	1,72 a	1,75 a
NPK	1,64 b	1,68 ab
10BCIN	1,57 c	1,64 ab
10BCSS	1,61 bc	1,61 b
10BCIN + NPK	1,53 bc	1,58 b
10BCSS + NPK	1,60 bc	1,61 b

T=Testemunha; NPK= Adubação com NPK; 10BCIN = 10t ha⁻¹ incorporado ao solo; 10BCSS = 10 t ha⁻¹ aplicado na superfície do solo; 10BCIN+NPK = 10t ha⁻¹ incorporado ao solo + NPK; 10BCSS+NPK = 10t ha⁻¹ aplicado na superfície do solo + NPK. Letras diferentes na coluna indicam diferença significativa (P<0,05) entre os tratamentos.

O decréscimo no valor de Ds em razão do uso da palhada, ocorreu principalmente devido à proteção física que esta proporciona ao solo, e à adição de matéria orgânica via decomposição deste resíduo. A matéria orgânica originada da bagana auxilia na formação e na estabilidade dos agregados do solo, promovendo a preservação das características estruturais dos poros, que implica em melhoria na retenção de umidade nesta camada, contribuindo para elevar a atividade dos microrganismos (ZHANG et al., 2014; YANG et al., 2018).

Em relação a Map, apenas o BCIN apresentou valores significativos na camada superficial, enquanto na profundidade considerada de 10-20 cm, apenas os tratamentos BCSS+NPK e 10BCIN+NPK sobressaíram com valores acima de 10%. Isso provavelmente ocorreu porque a bagana combinada ao NPK favoreceu condições de microclima e de nutrição mais adequadas aos microrganismos. Desta maneira, o processo de decomposição da bagana se deu de forma mais eficiente, possibilitando a disponibilização ao solo de maior teor de matéria orgânica ao solo (MOS). Esse maior teor de MOS, resultou na formação de uma maior macroporosidade, melhor estabilidade dos agregados, e por conseguinte redução da Ds (JOURGHOLAMI et al., 2018; BLANCO-CAQUI, LAL, 2007).

Tabela 5. Macroporosidade (Map), microporosidade (Mip), porosidade total (PT) nos sistemas de manejo estudados.

Tratamentos	Map		Mip		PT	
	$m^3 m^{-3}$					
	Profundidade		Profundidade		Profundidade	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
T	0,06 b	0,05 b	0,31 a	0,29 a	0,37	0,34
NPK	0,07 b	0,07 b	0,33 a	0,26 a	0,41	0,33
10BCIN	0,21 a	0,07 b	0,24 a	0,29 a	0,45	0,36
10BCSS	0,11 b	0,07 b	0,28 a	0,31 a	0,39	0,38
10BCIN+NPK	0,10 b	0,12 a	0,36 a	0,26 a	0,46	0,38
10BCSS+NPK	0,08 b	0,13 a	0,32 a	0,28 a	0,40	0,41

T=Testemunha; NPK= Adubação com NPK; 10BCIN = 10t ha⁻¹ incorporado ao solo; 10BCSS = 10 t ha⁻¹ aplicado na superfície do solo; 10BCIN+NPK = 10t ha⁻¹ incorporado ao solo + NPK; 10BCSS+NPK = 10t ha⁻¹ aplicado na superfície do solo + NPK. Letras diferentes na coluna indicam diferença significativa (P<0,05) entre os tratamentos.

Os tratamentos T e NPK, nas duas profundidades apresentaram valores de MAP inferiores a 10%, tendo sido esse limite adotado como um índice de qualidade física em torno do qual os valores dessa variável devem flutuar. Valores abaixo de 10% encontram-se na chamada “zona crítica”, haja vista que indicam possíveis limitações ao crescimento e desenvolvimento das culturas agrícolas (REINERT et al., 2008).

Por outro lado os valores MIP e PT não diferiram entre os tratamentos nas duas profundidades avaliadas. Os valores de porosidade total, nas duas camadas, ficaram abaixo de 50%. Isso ocorreu em função desse solo possuir uma textura franco arenosa, apresentando uma quantidade insuficiente de substâncias agregantes como argila e matéria orgânica que, conseqüentemente, origina uma baixa porosidade total. Alguns estudos mostram que nessa situação a agregação das partículas de solo é sempre reduzida (CARDOSO et al., 2012).

4.4. Análise dos componentes principais

4.4.1. Profundidade: 0-10 cm

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada na matriz de dados constituída das variáveis estudadas (Figura 4). Quanto ao percentual de variância explicada pelas componentes principais, verifica-se que os dois primeiros

componentes principais são responsáveis por 78,7 % da variabilidade original, sendo CP1 responsável por 58,7% e CP2 por 20 %.

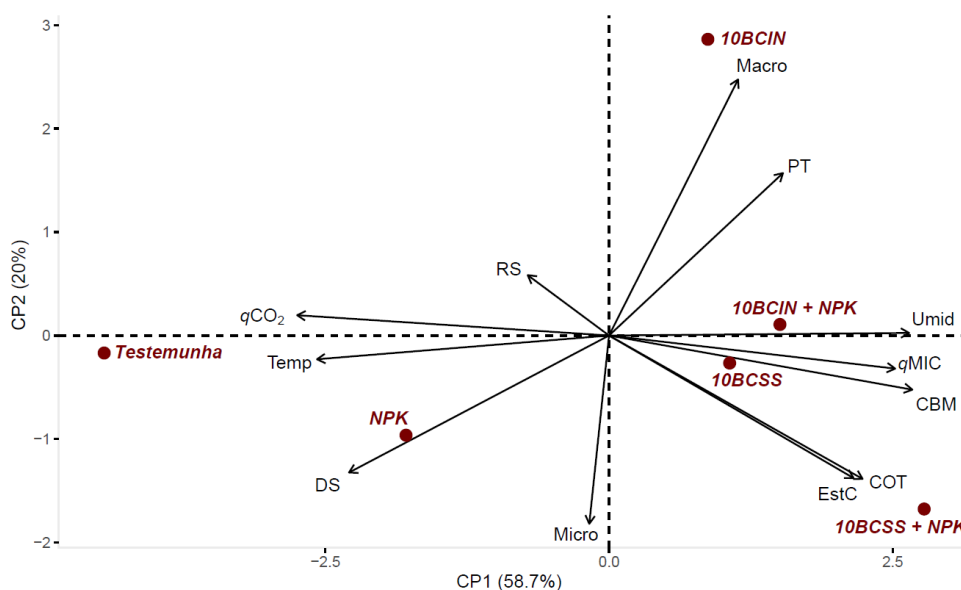


Figura 3. Análise de componentes principais (ACP), na profundidade de 0-10 cm com base nas variáveis avaliadas do solo nos diferentes tratamentos.

T=Testemunha; NPK= Adubação com NPK; 10BCIN = 10t ha⁻¹ incorporado ao solo; 10BCSS = 10 t ha⁻¹ aplicado na superfície do solo; 10BCIN+NPK = 10t ha⁻¹ incorporado ao solo + NPK; 10BCSS+NPK = 10t ha⁻¹ aplicado na superfície do solo + NPK.

O diagrama mostra que os grupos constituídos por BCSS e BCIN + NPK mostraram uma correlação com umidade, CBM e qMIC. O grupo formado BINC esteve associado a macroporosidade e porosidade total, e BCSS + NPK mostrou uma afinidade com COT e estoque de carbono. Por outro lado, temperatura, qCO₂ e Ds se correlacionaram positivamente com os tratamentos controle NPK e T.

Verifica-se que as variáveis biológicas, COT e umidade estiveram associadas aos tratamentos com bagana de carnaúba seja isolado ou associada a NPK. Conforme Sousa et al. (2018), a bagana de carnaúba apresenta um elevado teor de COT e embora tenha uma elevada relação C/N, a aplicação desse resíduo mostrou um considerável aumento dessa variável no solo já no segundo ano de aplicação. Ademais, outra consequência, mais imediata, da aplicação da palhada, foi a elevação dos níveis de umidade em razão do potencial deste resíduo atuar como isolante térmico e condicionador de umidade. Assim, um microclima favorável incrementa uma melhor utilização do COT pelos microrganismos, com consequente aumento da CBM (TU, RISTAINO, HU, 2006).

4.4.2. Profundidade: 10-20 cm

De acordo com a análise de componentes principais (ACP) realizada na matriz de dados composta das variáveis estudadas (Figura 5), quanto ao percentual de variância explicada pelas componentes principais, verifica-se que os dois primeiros componentes principais são responsáveis por 88,5 % da variabilidade original, sendo que CP1 responsável por 78,3 % e CP2 por 14,2%.

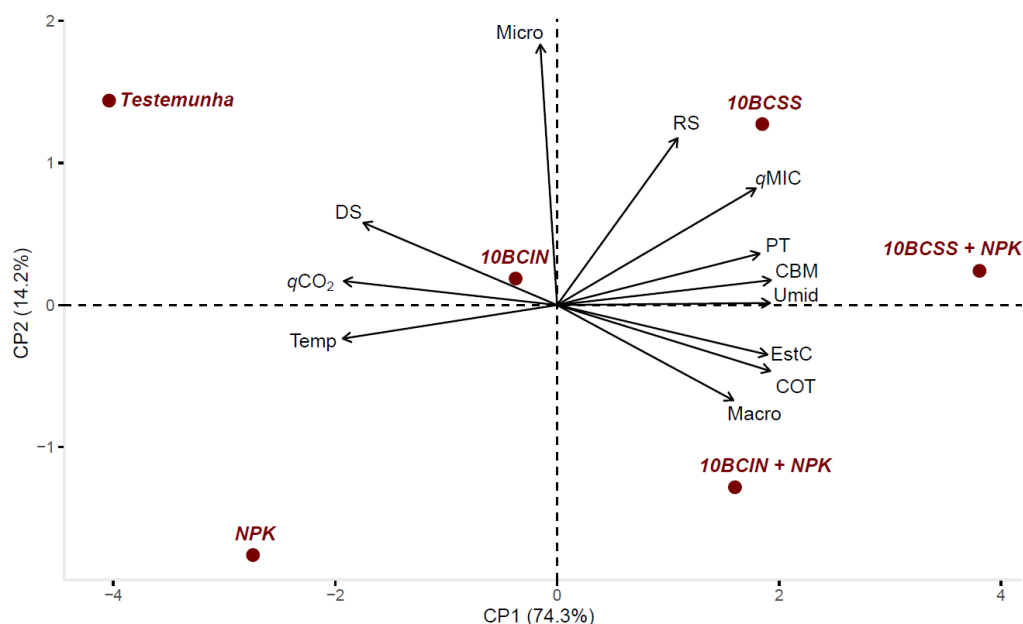


Figura 4. Análise de componentes principais (ACP), na profundidade de 10-20 cm, com base nas variáveis avaliadas do solo nos diferentes tratamentos.

T=Testemunha; NPK= Adubação com NPK; 10BCIN = 10t ha⁻¹ incorporado ao solo; 10BCSS = 10 t ha⁻¹ aplicado na superfície do solo; 10BCIN+NPK = 10t ha⁻¹ incorporado ao solo + NPK; 10BCSS+NPK = 10t ha⁻¹ aplicado na superfície do solo + NPK.

Nessa profundidade a análise de componentes principais sugere que o grupo formado pelos tratamentos T, NPK e até BCIN mostraram associação com Ds, qCO₂, temperatura e microporosidade que são variáveis cujos valores mais elevados implica em menor qualidade do solo. Os dois primeiros tratamentos, onde não foram adicionados o resíduo, o resultado era esperado visto que a ausência de cobertura vegetal favorece uma maior temperatura e, conseqüentemente, implica em um aumento nos níveis de evaporação da água disponível, com reflexos no CBM. Nesta pesquisa o efeito do tratamento BCIN foi mais efetivo na camada superficial do solo.

Normalmente em regiões de clima tropical a umidade está relacionada positivamente com o crescimento e desenvolvimento da microbiota (LOU et al, 2011). Portanto, valores mais elevados dos indicadores biológicos e químicos nos demais

tratamentos ocorreu em função da aplicação da bagana de carnaúba que condiciona, além de substratos orgânicos, condições edafoclimáticas favoráveis para atividade microbiana (ALMEIDA et al, 2009).

5. CONCLUSÃO

Os atributos microbiológicos e o carbono orgânico do solo foram favorecidos pela utilização da bagana de carnaúba associada ao NPK.

A bagana de carnaúba promoveu reduções na amplitude térmica, implicando em manutenção de umidade por um período mais longo de tempo.

A bagana de carnaúba incorporada contribuiu para diminuição da densidade do solo na camada de 0 – 10 cm.

Os tratamentos sistemas com bagana de carnaúba estiveram associados com o carbono orgânico, atributos biológicos e umidade do solo, enquanto que os tratamentos com solo descoberto apresentaram afinidade com D_s , qCO_2 e temperatura.

6. REFERÊNCIAS

- ADAK, T.; SINGHA, A.; KUMAR, K.; SHUKLA, S.K.; SINGH, A.; SINGH, V. K. Soil organic carbon, dehydrogenase activity, nutrient availability and leaf nutrient content as affected by organic and inorganic source of nutrient in mango orchard soil. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 14, p. 394-406, 2014.
- AKHTAR, K.; WANG, W.; REN, G.; KHAN, A.; FENG, Y.; YANG, G.; WANG, H. Integrated use of straw mulch with nitrogen fertilizer improves soil functionality and soybean production. **Environment International**, v.132, p. 92-105, 2019.
- ALBANO, F. G.; CAVALCANTE, I. H. L.; MACHADO, J. S.; LACERDA, C. F.; SILVA, E. R.; SOUSA, H. G. New substrate containing agroindustrial carnauba residue for production of papaya under foliar fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, p. 128-133, 2017.
- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. Londres: Academic Press, p.576, 1995.
- ALMEIDA, D.; KLAUBERG FILHO, O.; FELIPE, A. F.; ALMEIDA, H. C. Carbono, nitrogênio e fósforo microbiano do solo sob diferentes coberturas em pomar de produção orgânica de maçã no sul do Brasil. **Bragantia**, v. 68, p. 1069-1077, 2009.
- ALMENDRO-CANDEL, M. B.; LUCAS, I. G.; NAVARRO-PEDREÑO, J.; ZORPAS, A. A. Physical Properties of Soils Affected by the Use of Agricultural Waste. *In: Agricultural Waste and Residues* [ALADJADJIYAN, A. (ed.)], 1.ed. v.1, 2018.
- ALVES, M. O. **Extrativismo da carnaúba: relações de produção, tecnologia e mercados** / Maria Odete Alves, Jackson Dantas Coêlho. – Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2008. 214 p. (Série documentos do ETENE, 20).
- AQUINO, G. S.; MEDINA, C. C.; SILVESTRE, D. A.; GOMES, E. C.; CUNHA, A. C. B.; KUSSABA, D. A. O.; ALMEIDA, L. F.; SHAHAB, M.; SANTIAGO, A. D. Straw removal of sugarcane from soil and its impacts on yield and industrial quality ratoons. **Scientia agrícola**, v. 75, p. 526-529, 2018.
- ARAÚJO, A. K.; ARAÚJO, J. A. F.; MARANHÃO, S. R. Consórcios de milho, feijão e mandioca em presença de bagana de carnaúba em um Argissolo no litoral norte do Ceará sob condições de sequeiro. **Essentia Sobral**, v. 18, p. 2-23, 2017.
- ARAÚJO, A. S. F.; MELO, W. J. Soil microbial biomass in organic farming system. **Ciência Rural**, v. 40, p. 2419-2426, 2010.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, p. 66-75, 2007.
- ARAÚJO, A. S. F. ; LEITE, L. F. C.; MIRANDA, A. R. L.; NUNES, L. A. P. L.; SOUSA, R. S.; ARAÚJO, F. F.; MELO, W. J. Different soil tillage systems influence accumulation of soil organic matter in organic agriculture. **African Journal of Agricultural Research**, v. 1, p. 5109-5115, 2016.

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

AWE, G. O.; REICHERT, J. M.; WENDROTH, O. O. Temporal variability and covariance structures of soil temperature in a sugarcane field under different management practices in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 150, p. 93–106, 2015.

BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Boletim Agrometeorológico de 2015 para o município de Teresina, PI**. Teresina: Embrapa Meio-Norte (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 239), 2016, 38p.

BLANCO-CANQUI, H.; R. LAL. Soil structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till, **Soil and Tillage Research**, p. 240–254, 2007.

CAMPIGLIA, E.; RADICETTI, E.; BRUNETTI, P.; MANCINELLI, R. Do cover crop species and residue management play a leading role in pepper productivity? **Scientia Horticulturae**, v. 166, p. 97–104, 2014

CARDOSO, E. J. B. N., VASCONCELLOS, R. L. F., BINI, D., MIYAUCHI, M. Y. H., SANTOS, C. A. DOS, ALVES, P. R. L.; NOGUEIRA, M. A. (2013). Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? *Scientia Agricola*, 70(4), 274–289, 2013.

CARVALHO, F. P. A.; GOMES, J. M. A. Eco-eficiência na Produção de Cera de Carnaúba no Município de Campo Maior, Piauí, 2004. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, vol.46, p.421-453, 2008.

CARVALHO, J. N. F.; GOMES, J. M. A. Dinâmica econômica do sistema agroindustrial da cera de carnaúba no piauí. **iGepec**, v. 21, p. 48-65, 2017

CHALKER-SCOTT, L. Impact of Mulches on Landscape Plants and the Environment-A Review. **Journal of Environmental Horticulture**, v. 25,p. 239-249, 2007.

CHEN, S. Y.; ZHANG, X. Y.; PEI, D.; SUN, H. Y.; CHEN, S. L. Effects of straw mulching on soil temperature, evaporation and yield of winter wheat: field experiments on the North China Plain. **Annals of Applied Biology**, v. 150, p. 261–268, 2007

CHEN, Y., WEN, X., SUN, Y., ZHANG, J., WU, W., & LIAO, Y. Mulching practices altered soil bacterial community structure and improved orchard productivity and apple quality after five growing seasons. **Scientia Horticulturae**. v. 172, p. 248-257, 2014.

COSTA, N.R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K.S.M.; YOKOBATAKE, K.L.; FERREIRA, J.P.; PARIZ, C.M; BONINI, C. dos S.B.; LONGHINI, V.Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.852-863, 2015.

CUNHA, E. D. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. D. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na

produção orgânica de feijão e milho: II - atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 603-611, 2011

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. Carbono, nitrogênio e fósforo da biomassa microbiana do solo. In.: **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. p. 263-276, 2008

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W.; VIANA, J. H. M. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA, 2017. 225p.

FREITAS, L; OLIVEIRA, I; CASAGRANDE, J.C; SILVA, L.S ; AMORIM, C.C.C.M. Estoque de carbono de Latossolos em sistemas de manejo natural e alterado latosols (oxisols) carbon storage in natural and altered management. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 228-239, 2018

GACHERU, E. N.; GACHENE, C. K., GICHERU, P. T.; CLAESSENS. Effect of Mulching on Soil Temperature and Moisture for Potato Production in Agro-Ecological Zones of Central Highlands of Kenya. **Handbook of Climate Change Resilience**, v. 1, p. 1–25.

GHOSH, S.; WILSON, B.; GHOSHAL, S.; SENAPATI, N.; MANDAL, B. Organic amendments influence soil quality and carbon sequestration in the Indo-Gangetic plains of India. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 156, p.134–141, 2012.

GOMES; J.A.F.; LEITE, E.R.; CAVALCANTE, A.C.R.; CÂNDIDO, M.J.D.; LEMPP, B.; BOMFIM, M.A.D.; ROGÉRIO; M.C.R. Resíduo agroindustrial da carnaúba como fonte de volumoso para a terminação de ovinos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.58-67, 2009

GONÇALVES, M. P. M.; SILVA, M. I. O.; Grugik, M.A ; FELICIANO, A. L. P. ; SILVA, L. B. Substratos alternativos na produção de mudas de *Harpalyce brasiliiana* BENTH. **Oecologia Australis**, v. 23, p. 464-472, 2019.

GONÇALVES, M.P.M.; FELICIANO; A.L.P.; SILVA, A.P.; SILVA, L.B.; SILVA, K.M., SILVA JUNIOR, F.S. Desenvolvimento em campo de espécies da Caatinga com o uso de resíduo de carnaúba. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p.1188-1200, 2020.

GUO, L.J., ZHANG, Z.S.; WANG, D.D.; LI, C.F.; CAO, C.G. Effects of short-term conservation management practices on soil organic carbon fractions and microbial community composition under a rice-wheat rotation system. **Biology and Fertility of Soils**, v. 51, p. 65–75, 2014.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, v.27, p. 408-416, 1998.

JABRAN, K. Mulches for soil and water conservation. In: **Role of Mulching in Pest Management and Agricultural Sustainability**. Springer, p. 33-39, 2019.

JIN, Z.; SHAH, T.; ZHANG, L.; LIU, H.; PENG, S.; NIE, L. Effect of straw returning on soil organic carbon in rice–wheat rotation system: A review. **Food and Energy Security**, v. 9, p. 1-13, 2020.

JOURGHOLAMI, M.; KHAJAVI, S.; LABELLE, E. R. Mulching and water diversion structures on skid trails: Response of soil physical properties six years after harvesting. **Ecological Engineering**, v. 123, p. 1–9, 2018.

KADER, M. A., SINGHA, A., BEGUM, M. A., JEWEL, A., KHAN, F. H., & KHAN, N. I. Mulching as water-saving technique in dryland agriculture: review article. **Bulletin of the National Research Centre**, v.43, p. 18-27, 2019.

KADER, M. A.; SENGE, M.; MOJID, M. A.; NAKAMURA, K. Mulching type-induced soil moisture and temperature regimes and water use efficiency of soybean under rain-fed condition in central Japan. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 5, p. 302–308, 2017.

KAHLON, M. S.; LAL, R. B, ANN-VARUGHESE, M. Twenty-two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. **Soil and Tillage Research**, v. 126, p. 151–158, 2013.

LACERDA, K. A. P.; CORDEIRO, M. A. S.; VERGTINASSI, A.; SALGADO, F. H. M. PAULINO, H. B.; CARNEIRO, M. A. C. Organic carbon, biomass and microbial activity in an Oxisol under different management systems. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v.56, p. 249-254, 2013.

LI, S. X.; WANG, Z. H.; LI, S. Q.; GAO, Y. J.; TIAN, X. H. Effect of plastic sheet mulch, wheat straw mulch, and maize growth on water loss by evaporation in dryland areas of China. **Agricultural Water Management**, v. 116, p. 39–49, 2013.

LIU, Y.; WANG, J.; LIU, D.; LI, Z.; ZHANG, G.; TAO, Y.; CHEN, F. Straw Mulching Reduces the Harmful Effects of Extreme Hydrological and Temperature Conditions in Citrus Orchards. **Plos One**, v.9, n.1, 2014.

LORENZI, H.; SOUZA, H.M.; CERQUEIRA, L. S. C.; FERREIRA, E.; COSTA, J. T. M. **Palmeiras brasileiras e exóticas cultivadas**. São Paulo: Plantarum, 2004. 416p.

LORENZI, H.; NOBLICK, L.; KAHN, F.; FERREIRA, E. Flora brasileira Lorenzi: *Arecaceae* (palmeiras). **Instituto Plantarum de Estudos da Flora**. Nova Odessa, 2010. 368p.

LOU, Y.; LIANG, W.; XU, M.; HE, X.; WANG, Y.; ZHAO, K. Straw coverage alleviates seasonal variability of the topsoil microbial biomass and activity. **CATENA**, v. 86, p. 117–120, 2011

LOZANO-PARRA, J., PULIDO, M., LOZANO-FONDÓN, C., SCHNABEL, S. How do Soil Moisture and Vegetation Covers Influence Soil Temperature in Drylands of Mediterranean Regions? **Water**, v. 10, 2018.

LUSTOSA FILHO, J. F.; NÓBREGA, J. C. A.; NÓBREGA, R. S. A.; DIAS, B. O.; AMARAL, F. H. C.; AMORIM, S. P. N. Influence of organic substrates on growth and nutrient contents of jatobá (*Hymenaea stigonocarpa*). **African Journal of Agricultural Research** v. 10, p. 2544-2552, 2015.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**, 2006, 729 p.

MURGA-ORRILLO, H.; ARAÚJO, W. F.; ABANTO-RODRIGUEZ C.; SAKAZAKI, R. T.; BARDALES-LOZANO R. M.; POLO-VARGAS, A. R. Influência da cobertura morta na evapotranspiração, coeficiente de cultivo e eficiência de uso de água do milho cultivado em cerrado. **Irriga**, v. 21, p. 352-364, 2016.

NOVAK, M. D.; CHEN, W.; HARES, M. H. Simulating the radiation distribution within a barley-straw mulch. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 102, p. 173–86, 2000.

ODJUGO, P. A. O. The effect of tillage systems and mulching on soil microclimate, growth and yield of yellow yam (*Dioscorea cayenensis*) in Midwestern Nigeria. **African Journal of Biotechnology**, v. 7, p. 4500-4507, 2008.

ODUM, E.P The strategy of ecosystems development. **Science**, v. 164, p. 262 - 270, 1969.

OLIVEIRA, L. S.; COSTA, M.C.G. ; SOUSA, H. A.; BLUM, J.; SILVA, G. H. A. ; ABREU, M. G. P. ; MAIA, D. S. Characterization of Organic Wastes and Effects of Their Application on the Soil. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, p. 291-298, 2018.

OLIVEIRA, F. N. S.; LIMA, A. A. C.; AQUINO, A. R. L.; MAIA, S. M. F. **Influência da cobertura morta no desenvolvimento de fruteiras tropicais**. Embrapa, v. 49, p. 1677-1915, 2002.

PARIHAR, C. M.; SINGH A. K.; JAT, S. L.; GHOSH, A.; DEY, A.; NAYAK, H. S., PARIHAR, M. D, MAHALA, D. M.; YADAV, R. K., RAI, V.; SATAYANARYANA T.; JAT, M. L. Dependence of temperature sensitivity of soil organic carbon decomposition on nutrient management options under conservation agriculture in a sub-tropical Inceptisol. **Soil and Tillage Research**, v. 190, p. 50–60, 2019.

QIU, Y., LV, W.; WANG, X., XI, Z.; WANG, Y. Long-term effects of gravel mulching and straw mulching on soil physicochemical properties and bacterial and fungal community composition in the Loess Plateau of China. **European Journal of Soil Biology**, v. 98, 2020.

QUEIROGA, R.C.F.; NOGUEIRA, I.C.C.; BEZERRA NETO, F.; MOURA, A.R.B.; PEDROSA, J.F. Utilização de diferentes materiais como cobertura morta do solo no cultivo de pimentão. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p. 416-418, 2002.

QUEIROGA, V. P.; RAMOS, G. A.; ASSUNÇÃO, M. V.; ALMEIDA, F. de A. C. **Carnaubeira: tecnologias de plantio e aproveitamento industrial**. Campina Grande: EDUFPG, 2013. 204 p.

RABOT, E.; WIESMEIER, M.; SCHLÜTER, S.; VOGEL, H.J. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. **Geoderma**, v. 314, p. 122–137, 2018.

R Core Team. Uma Linguagem e Ambiente para Computação Estatística. R Fundação para Computação Estatística, Viena, Áustria, 2016. Disponível em: <https://www.project.org/>

RAMOS, F. T.; NUNES, M. C. M.; CAMPOS, D. T. da S.; RAMOS, D. T.; MAIA, J. C. de S. Atributos físicos e microbiológicos de um latossolo vermelho-amarelo distrófico típico sob cerrado nativo e monocultivo de soja. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 6, p. 79-91, 2011.

REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, J.M.; AITA, C.; ANDRADA, M.M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1805, 2008.

RICIERI, R. P.; GASPARIM, E.; SILVA, S. D. L.; DALLACORT, R.; GNOATTO, E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 27, 2005.

ROCHA, T. G. F., SILVA; R. A. R.; DANTAS, E. X.; VIEIRA, F. A. Etnoecologia e etnobotânica da palmeira carnaúba no semiárido brasileiro. **CERNE**, v. 21, p. 587-594, 2015.

ROCHA, I. T. M.; SILVA, A. V.; SOUZA, R. F.; FERREIRA, J. T. P. Uso de resíduos como fonte de nutrientes na agricultura. **Revista Verde**, v. 8, p. 47-52, 2013.

SANTONJA, M.; FERNANDEZ, C. GAUQUELIN, T.; BALDY, V. Climate change effects on litter decomposition: intensive drought leads to a Strong decrease of litter mixture interactions. **Plant Soil**, v.393, p. 69-82, 2015.

SANTOS, V. B.; ARAÚJO, A. S. F.; LEITE, L. F. C.; NUNES, L. A. P. L.; MELO, W. J. Soil microbial biomass and organic matter fractions during transition from conventional to organic farming systems. **Geoderma**, v. 170, p. 227–231, 2012.

SEKHON, N. K.; HIRA, G. S.; SIDHU, A. S.; THIND, S. S. Response of soybean (*Glycine max* Mer.) to wheat straw mulching in different cropping seasons. **Soil Use and Management**, v.21, p. 422–426, 2005.

SHARMA, K. L.; MANDAL, U. K.; SRINIVAS, K.; VITTAL, K. P. R.; MANDAL, B.; GRACE, J. K.; RAMESH, V. Long-term soil management effects on crop yields and soil quality in a dryland Alfisol. **Soil and Tillage Research**, v.83, p. 246–259, 2005.

SILVA, V. B.; RABELO, J. S.; COSTA, R. N. T.; SILVA, A. O.; ALMEIDA, A. V. R. de. Response of the cherry tomato to watering and ground cover under organic cultivation. **Australian Journal of Crop Science**, v. 3, p. 214-220, 2019.

SILVA, A. A.; GALON, L.; FERREIRA, F. A.; TIRONI, S. P.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. F. da; ASPIAZÚ, I.; AGNES, E. L. Sistema de plantio direto na palhada e seu impacto na agricultura brasileira. **Revista Ceres**, v. 56, p. 496-506, 2009.

SILVA, A. A.; SILVA, L. P. B.; CAVALCANTE, M. Z. B.; PESSOA NETO, J. A.; CAVALCANTE, I. H. L. Reaproveitamento do resíduo da indústria de carnaúba no substrato para produção de mudas de melancia. **Cultura Agrônômica**, v.26, p.10-20, 2017.

SILVA, P. S. L.; SILVA, P. I. B.; R., OLIVEIRA, V. R.; SILVA, K. E. F.; MONTEIRO, A. L. Doses of carnauba leaf residues and corn yield. **Horticultura Brasileira**, v. 34, p. 74-79, 2014.

SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; MIGUEL, D. L.; FEITORA, J. C. F.; LOSS, A.; MENEZES, C. E. G.; SILVA, E. M. R. da. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1680-1689, 2012.

SILVA JÚNIOR, J. V.; BECKMANN-CAVALCANTE, M. Z.; BRITO, L. P. da S.; AVELINO, R. C; CAVALCANTE, I. H. L. Use of alternative materials in the production of tomato seedlings under foliar fertilization. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 3, p. 528-536, 2014.

SOUSA, P. G. R.; SOUSA, J. P. F.; SOUSA, A. M.; COSTA, R. N. T. Produtividade do mamoeiro cultivado sob aplicação de cinzas vegetais e bagana de carnaúba. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.11, p. 1201 - 1212, 2017.

SOUSA, P.G.R; SOUSA, J.P.F.; SOUSA, A.M.; COSTA, R.N.T. Produtividade do mamoeiro cultivado sob aplicação de cinzasvegetais e bagana de carnaúba. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v.11, p. 1201 - 1212, 2017

SOUZA, A. A. L.; MOREIRA, F. J. C.; ARAÚJO, B. A.; LOPES, F. G. N.; SILVA, M. E. S.; CARVALHO, B. S. Desenvolvimento inicial de duas variedades de alface em função de dois tipos de substratos e cobertura do solo. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 10, p. 316-326, 2016.

SOUSA, L. B., LUSTOSA-FILHO, J. F., AMORIM, S. P. N., NOBREGA, R. S. A., NOBREGA, J. C. A. Germinação, crescimento e nodulação natural de *Enterolobium contortisiliquum* em substratos regionais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.11, p.345-353, 2016.

THOMAZINI, A., MENDONÇA, E. S., SOUZA, J. L., CARDOSO, I. M., & GARBIN, M. L. Impact of organic no-till vegetables systems on soil organic matter in the Atlantic Forest biome. **Scientia Horticulturae**, v.182, p. 145–155, 2015

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Publications in Climatology. Drexel Institute of Technology; 1955, 104p.

TU, C., RISTAINO, J. B.; HU, S. Soil microbial biomass and activity in organic tomato farming systems: Effects of organic inputs and straw mulching. **Soil Biology and Biochemistry**, v.38, p. 247–255, 2006.

WANG, Q.; CAO, X.; JIANG, H.; GUO, Z. Straw Application and Soil Microbial Biomass Carbon Change: A Meta-Analysis. **CLEAN-Soil, Air, Water**, v. 49, p. 1-7, 2020.

WANG, X.; JIA, Z.; LIANG, L. Effect of straw incorporation on the temporal variations of water characteristics, water - use efficiency and maize biomass production in semi-arid China. **Soil and Tillage Research**, v. 153, p. 36–41, 2015.

WU, J. H.; TANG, C. S.; SHI, B.; GAO, L.; TANG, JIANG; DANIELS, J. L.S. Effect of ground covers on soil temperature in urban and rural areas. **Environmental and Engineering Geoscience**, v. 20, p. 225–37, 2014.

XU, H., XIAO, R., & SONG, T. Effects of different fertilization on microbial biomass carbon from the red soil in tea garden. **Frontiers of Agriculture in China**, v.2, p. 418–422, 2008.

YAN, S; SONG, J.; FAN, J.; YAN, C.; DONG, S.; MA, C., GONG, Z. Changes in soil organic carbon fractions and microbial community under rice straw return in Northeast China. **Global Ecology and Conservation**, v.22, p. 62-74, 2020.

YANG, Y.; WU, J.; ZHAO S.; HAN, Q.; PAN, X.; HE, F.; CHEN, C. Assessment of the responses of soil pore properties to combined soil structure amendments using X-ray computed tomography. **Scientific Reports**, v. 8, p. 1-10, 2018.

ZHAO, Y.; PANG, H.; WANG, J.; HUO, L.; LI, Y. Effects of straw mulch and buried straw on soil moisture and salinity in relation to sunflower growth and yield. **Field Crops Research**, v. 161, p. 16–25, 2014.

ZHANG J. B; YANG, J. S.; YAO, R. J., YU, S.P.; LI, F. R.; HOU, X. J. The Effects of Farmyard Manure and Mulch on Soil Physical Properties in a Reclaimed Coastal Tidal Flat Salt-Affected Soil. **Journal of Integrative Agriculture**, v.8, p. 1782-1790, 2014.

ZHANG, M.; ZHAO, G.; LI, Y.; WANG, Q.; DANG, P.; QIN, X.; ZOU, Y.; CHEN, Y.; SIDDIQUE, K. H. M. Straw incorporation with ridge–furrow plastic film mulch alters soil fungal community and increases maize yield in a semiarid region of China. **Applied Soil Ecology**, v. 167, p. 104-113, 2021.

ZRIBI, W.; ARAGÜÉS, R.; MEDINA, E.; FACI, J. M. Efficiency of inorganic and organic mulching materials for soil evaporation control. **Soil and Tillage Research**., v.148, p. 40-45, 2015

ZWIRTES, A. L.; REINERT, D. J.; GUBIANI, P. I.; SILVA, V. R. da; MULAZZANI, R. P.; SOMAVILLA, A. Alterações da temperatura em solo coberto de palha de aveia-preta. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.52, p.1127-1130, 2017.