



UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CAMPUS DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

GILBERTO SARAIVA TAVARES FILHO

ATIVIDADE DAS ENZIMAS β -GLICOSIDASE E ARILSUFATASE EM
SOLOS DO SUBMÉDIO DO VALE DO SÃO FRANCISCO

JUAZEIRO - BA

2022

GILBERTO SARAIVA TAVARES FILHO

**ATIVIDADE DAS ENZIMAS β -GLICOSIDASE E ARILSUFATASE EM
SOLOS DO SUBMÉDIO DO VALE DO SÃO FRANCISCO**

Dissertação apresentada ao curso de Pós Graduação *Strito Sensu* em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Fabio Freire de Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. Cícero Antônio de Sousa Araújo

**JUAZEIRO -BA
2022**

T231a Tavares Filho, Gilberto Saraiva
Atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase em solos do submédio do Vale do São Francisco / Gilberto Saraiva Tavares Filho, Juazeiro-Ba, 2022.
xxii, 45 f. : il. ; 29 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Fabio Freire de Oliveira.

1. Solos. 2. Fruticultura. 3. Atividade enzimática. 4. Quimiometria I. Título. II. Oliveira, Fabio Freire de. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 631.4

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO CAMPUS DE
CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
FOLHA DE APROVAÇÃO

GILBERTO SARAIVA TAVARES FILHO

ATIVIDADE DAS ENZIMAS B-GLICOSIDASE E ARILSUFATASE EM SOLOS DO
SUBMÉDIO DO VALE DO SÃO FRANCISCO

Dissertação apresentada a
Universidade Federal do Vale do São
Francisco – UNIVASF, Campus
Juazeiro, como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre em
Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 09 de setembro de 2022.

Banca Examinadora

Fabio Freire de Oliveira:
09613688706

Assinado digitalmente por Fabio Freire de Oliveira:09613688706
DN: CN=Fabio Freire de Oliveira:09613688706, OU=IFSERTA OPE - Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, O=ICPEdu, C=BR
Razão: Eu sou o autor deste documento
Localização: CPZR
Data: 2022.10.28 09:27:14
Foxit Reader Versão: 9.0.1

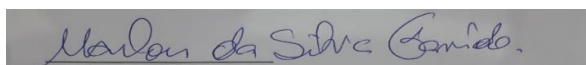
Dr. Fabio Freire de Oliveira – IF – Sertão (Orientador)

Cicero Antonio de Sousa
Araujo:22296980368

Assinado de forma digital por Cicero Antonio de Sousa Araujo:22296980368
DN: cn=Cicero Antonio de Sousa Araujo:22296980368, ou=IFSERTA OPE -
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão
Pernambucano, o=ICPEdu, c=BR
Dados: 2022.10.26 16:58:58 -03'00'

Versão do Adobe Acrobat Reader: 2022.003.20263

Dr. Cícero Antônio de Sousa Araújo – IF – Sertão (Coorientador)



Dr. Marlon da Silva Garrido – UNIVASF (Examinador Interno)

Documento assinado digitalmente
gov.br MARCOS SALES RODRIGUES
Data: 26/10/2022 16:30:59-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dr. Marcos Sales Rodrigues – UNIVASF (Examinador Externo)

À minha família e
orientadores, por todo o apoio
e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Se alguém me perguntasse qual a palavra que descreve sua história? Poderia eu pensar... Talvez sorte, gratidão, dentre outras... Porém, a que mais me define nessa caminhada seria, DEUS! Por todas as situações que fui colocado a prova, e superar, pelos caminhos que fui guiado, mesmo sem saber se era o melhor, por toda paz que me proporcionou, e por todas as pessoas fantásticas que deixaram e deixam marcas em minha vida. Agradeço a Deus por me conceder tudo o que preciso e muito mais. Por estar sempre presente em nossa vida, norteando, protegendo e abençoando em todos os momentos. Agradeço também a meu protetor São Jorge pelas graças, bênçãos e força durante toda minha vida.

A frase da minha epígrafe define esse momento: “Bem-aventurado o homem que suporta, com perseverança, a provação; porque, depois de ter sido aprovado, receberá a coroa da vida, a qual o Senhor prometeu aos que o amam.” E o Senhor me deu a coroa da vida, família e amizade! De início, me deu um exemplo de pai (Gil de Inácio) e Mãe (Ana Peixoto) que dedica todo o amor, carinho, a seus filhos, sendo os meus maiores exemplos e incentivadores “tudo é por vocês”.

Agradeço pelas duas irmãs maravilhosas (Kelly e Girlane). Por ter Ana Livia, Ana Sara, Lais, Lucas e meu garoto Mário Jorge, crianças, meigas e carinhosas. Pelo meu cunhado (Ailton), exemplo de caráter e honestidade. A Flaviana por todo apoio incondicional, carinho e dedicação, como namorada, amiga e companheira, e pelos momentos de paciência e alegria.

Gratidão, meu Deus, por me proporcionar o privilégio de ter dois amigos orientadores (Prof. Fabio Freire e Prof. Cícero Antônio) a quem sou eternamente grato, pela paciência, dedicação, conselhos e ensinamentos, que enriqueceram o meu caminho profissional e pessoal. Pela minha segunda família que tu senhor me concedeu, Dona Mirian, Dona Marluce Andrade, Mila Andrade, Fabio, Felipe, Fernanda. Pelo apoio da minha madrinha Ângela Peixoto e tias Francisca e Vandira.

Meus sinceros agradecimentos a toda nossa equipe de pesquisa do laboratório de análise de solo e planta do IF-SERTÃO Campus Petrolina Zona Rural, na pessoa de: Graciene, Estefany Barreto, Felipe, Ana Júlia, Hércules, Eloisa, Brena, Marina, Victor, Leopodino, em especial a Gabriel Anastácio, Matheus Viana, Leonardo Lima, Luiz Eduardo, pela colaboração na realização das coletas e análises, sem a ajuda de vocês seria impossível concluir com êxito este trabalho.

Quero agradecer ao Colegiado de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola por todo conhecimento transmitido. Todos os professores, deixaram algo que acrescentou na minha vida pessoal e profissional. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pela bolsa concedida durante o curso. Também ficam meus agradecimentos e aos cantores Leonardo, Kara Véia, Junior Vianna, Poeta Flávio Leandro e Joãozinho do Exú que me acompanharam durante tantas noites de estudo.

Aos Prof. Dário Primo e Rômulo Simões do departamento de energia nuclear – DEN - UFPE, pelo apoio na aquisição dos reagentes utilizados nessa pesquisa. Ao laboratório SOLOAGRI pela disponibilidade de ceder reagentes. Aos consultores Lubarino, Edson Gomes, Eduardo Ferraz e Fazenda Agrodan por indicar e disponibilizar as áreas para coleta das amostras.

Aos amigos que fiz e pretendo levar para o resto da minha vida... Deneson Lima, Cleyton Araújo, Judicael Novaes, Neilson Silva, José Mendes, Samuel Lourival, José Ilson e Ir. Júnior de Sá. Gostaria de agradecer a meus ex-colegas de graduação e amigos, Jonas Peixoto, Maycon Oliveira, Renan Lins e Nino Torquato. Aos amigos de Carimirim que sempre me apoiaram nessa caminhada, Paulo Henrique, Evaldo Freitas, Wilson Taveira, Antônio Daciano, Raiana Saraiva, Luís Helder, João Luis, Viola e a todos os que contribuíram de alguma forma para o meu sucesso e crescimento como pessoa.

A Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IF Sertão – PE), Campus Petrolina, Zona Rural, que me deu todo suporte para conclusão de mais uma etapa da minha vida. “Sem disciplina, o talento não serve para nada – CR7”.

Meu muito obrigado!

Bem-aventurado o homem que suporta, com perseverança, a provação; porque, depois de ter sido aprovado, receberá a coroa da vida, a qual o Senhor prometeu aos que o amam. (Tg1:12, RA).

RESUMO

A qualidade do solo é avaliada, principalmente, por meio de atributos físicos e químicos, pois já possuem níveis bem definidos. No entanto, vários estudos sugerem o uso de atributos biológicos do solo em função de sua alta sensibilidade, como indicadores de sua qualidade. Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito de diferentes sistemas de manejo agrícola sobre a atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase em solos com cultivo e com caatinga nativa. O estudo observacional foi realizado no ano de 2022, no submédio do São Francisco, em condições de experimentação natural, nos municípios de Petrolina, Juazeiro e Ibó, em áreas com cultivos de mangueira (*Mangifera indica*) e videira (*Vitis vinifera*) e área com Caatinga. Foram coletadas 77 amostras compostas de solo na profundidade de 0 a 10 cm. Foram analisados, granulometria, pH, P, K, Ca, Mg, C orgânico total, carbono da biomassa microbiana e atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase. Os dados obtidos foram submetidos à análise de componentes principais (PCA), análise descritiva e correlação linear de Pearson. As áreas cultivadas apresentaram valores elevados das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase e esses resultados não podem ser comparados com as condições de solo do Cerrado.

Palavras-chave: Atividade enzimática. Bioindicadores. Qualidade do solo.

ABSTRACT

Soil quality is evaluated mainly through physical and chemical attributes, as they already have well-defined levels. However, several studies have suggested the use of soil biological attributes due to its high sensitivity, as indicators of its quality. Given the above, the objective was to evaluate the effect of different agricultural management systems on the activity of β -glucosidase and arylsulfatase enzymes in cultivated and native caatinga soils. The observational study was carried out in 2022, in the submiddle of the São Francisco, under natural experimental conditions, in the municipalities of Petrolina, Juazeiro and Ibó, in areas with mango (*Mangifera indica*) and vine (*Vitis vinifera*) crops. and area with native vegetation. 77 composite soil samples were collected at a depth of 0 to 10 cm. Were analyzed, particle size, pH, P, K, Ca, Mg, total organic C, microbial biomass carbon and activity of β -glucosidase and arylsulfatase enzymes were analyzed. The data obtained were submitted to principal components analysis (PCA), descriptive analysis and Pearson's linear correlation. Aerials showed high values of β -glucosidase and arylsulfatase enzymes and these results cannot be compared with soil conditions in the Cerrado.

Keywords: Enzymatic activity. Bioindicators. Soil quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Funções do solo, atributos e indicadores de qualidade do solo. 20

Figura 2 - Atividade enzimática da β -glicosidase e Arisulfatase em áreas cultivadas com mangueira, videira e vegetação nativa da Caatinga 34

Figura 3 - Análise de componentes principais (PCA), em áreas cultivadas com mangueira, videira e vegetação nativa da Caatinga, representados pelos indicadores químicos, físicos e biológicos do solo..... 36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de interpretação de bioindicadores para Latossolos Vermelhos argilosos de Cerrado, sob cultivos anuais, na camada de 0 a 10 cm, utilizando o conceito Fertbio: específica para amostras de solo coletadas na fase de pós-colheita e secas ao ar.....	27
Tabela 2 - Descrição do histórico e manejo das áreas cultivadas com videiras.....	28
Tabela 3 - Descrição do histórico e manejo das áreas cultivadas com mangueiras.	29
Tabela 4 - Descrição do histórico áreas de vegetação nativa da Caatinga.....	30
Tabela 5 - Atributos químicos e biológicos em áreas cultivadas com mangueira, videira e vegetação nativa da Caatinga	32
Tabela 6 - Análise descritiva da atividade enzimática da β -glicosidase em áreas cultivadas com mangueira, videira e vegetação nativa da Caatinga	35
Tabela 7 - Análise descritiva da atividade enzimática da Arisulfatase em áreas cultivadas com mangueira, videira e vegetação nativa da Caatinga	35
Tabela 8 - Correlação linear de Pearson entre os atributos químicos, físicos e biológicos em áreas cultivadas com mangueira, videira e vegetação nativa da Caatinga.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AriS	Arilsufatase
Ass	Assimetria
BMS	Biomassa microbiana do solo
C	Carbono
Ca	Cálcio
CaCl ₂	Cloreto de cálcio
CBM	Carbono da Biomassa Microbiana
O ₂	Dióxido de carbono
COT	Carbono Orgânico Total
CP1	Componente principal 1
CP2	Componente principal 2
CTC	Capacidade de troca catiônica
CV	Coefficiente de variação
DP	Desvio Padrão
Fertbio	Fertilidade química e biológica do solo
H	Hidrogênio
IQS	Índices de qualidade do solo
K	Potássio
K ₂ SO ₄	Sulfato de potássio
Max	Valor máximo
Med	Mediana
Méd	Média
Mg	Magnésio
Mín	Valor mínimo
MOS	Matéria orgânica do solo
MUB	Modified universal buffer
N	Nitrogênio
NaOH	Hidróxido de sódio
NH ₄	Amônio

O	Oxigênio
P	Fósforo
PCA	Análise de componentes principais
pH	Potencial hidrogeniônico
PNG	p-nitrofenil β -D-glicopiranosídeo
PNS	p-nitrofenil sulfato
QS	Qualidade do solo
S	Enxofre
THAM	Tris hydroxymethyl amino metano
UNIVASF	Universidade Federal do Vale do Francisco
β -gli	β -glicosidase

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	155
2. HIPÓTESES	166
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1 SOLOS DO SUBMÉDIO DO VALE DO SÃO FRANCISCO	17
3.2 FRUTICULTURA NO VALE DO SÃO FRANCISCO.....	17
3.3 QUALIDADE DO SOLO (QS)	19
3.4 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MOS).....	211
3.5 BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO.....	222
3.6 BIOMASSA MICROBIANA	244
3.7 ATIVIDADE ENZIMÁTICA DO SOLO	255
4. OBJETIVOS	27
4.1 OBJETIVO GERAL	27
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS.....	28
5.2 COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS	28
5.3 ANÁLISES FÍSICAS DO SOLO	30
5.4 ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO	31
5.5 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DO SOLO.....	311
5.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	322
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	322
7. CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

O uso intensivo do solo e a redução da cobertura vegetal provoca a degradação dos recursos naturais com conseqüente redução da qualidade, tornando necessária a avaliação de indicadores capazes de evidenciar de forma quantitativa ou qualitativa as alterações e perturbações que ocorrem no solo (LISBOA *et al.*, 2012).

A qualidade do solo é avaliada por meio de atributos físicos e químicos, uma vez que os mesmos já possuem níveis bem definidos. No entanto, diversas pesquisas sugerem os atributos biológicos do solo como indicadores de qualidade, em função de sua alta sensibilidade ao manejo e de ser a parte viva mais ativa da matéria orgânica do solo (BALOTA *et al.*, 2014; MENDES *et al.*, 2015).

A biomassa microbiana do solo executa diversas funções de elevada importância como formação de agregados, ciclagem e mineralização de nutrientes, retenção de água, decomposição, liberação de hormônios, de enzimas e substâncias inibidoras do crescimento de plantas (CAVALCANTE *et al.*, 2020). Por estes motivos, é um componente essencial para a estrutura do ecossistema, tendo sua atividade influenciada principalmente pela temperatura, umidade, manejo e cultivo do solo (GUIMARÃES *et al.*, 2017).

Segundo Lopes *et al.* (2018), um dos principais entraves encontrados para se utilizar parâmetros microbiológicos como análises rotineiras do funcionamento da maquinaria biológica do solo, seria a interpretação individual de atributos biológicos.

No entanto, Mendes *et al.* (2021) e Aragão *et al.* (2020), definiram que as enzimas β -glicosidase e arilsulfatase são consideradas excelentes indicadores de qualidade do solo, pois atuam na hidrólise de ligações β -glicosídicas e ésteres de sulfato, apresentando alta sensibilidade e resposta rápida às mudanças no manejo agrícola, além de correlação positiva com os outros indicadores biológicos.

Por meio de ensaios de calibração, níveis da atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase, foram definidas classes para produção de grãos, sendo atualmente utilizados em análise de rotina como indicadores de qualidade do solo. Com base nisso, foi realizado uma prospecção para averiguar a adequação do método para futuros estudos de calibração na fruticultura no Vale do São Francisco, tendo em vista as particularidades edafoclimáticas.

2. HIPÓTESES

As condições edafoclimáticas das áreas de fruticultura no submédio do Vale do São Francisco, comparadas aos de produção de grãos no Cerrado, apresentaram diferentes atividades das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase.

Manejos e condições edáficas e/ou ambientais que priorizem a manutenção e/ou incremento da matéria orgânica do solo favorecem níveis mais elevados das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 SOLOS DO SUBMÉDIO DO VALE DO SÃO FRANCISCO

Torna-se fundamental o conhecimento das características intrínsecas e extrínsecas dos solos, com fins de avaliação das suas limitações e potencialidades. Através da caracterização morfológica dos solos, posterior interpretação dos resultados analíticos, é possível indicar o manejo adequado para cada tipo de solo, especialmente os de regiões semiáridas que são mais susceptíveis a degradação (AYANGBENRO; BABALOLA, 2020).

No submédio do Vale do São Francisco, o material originário e a geologia exercem papel de grande importância na formação dos solos, em função da grande variação litológica, constitui uma diversidade de classes de solo, destacando-se os Argissolos e os Neossolos Quartzarênicos, abrangendo 17.354,92 e 32.182,15 ha, isto é, 26,39 e 47,45% da área total, respectivamente. Também podendo ser encontrado outras classes como os Planossolos, Neossolos Flúvicos, Cambissolos Flúvicos, Neossolos Litólicos e os Vertissolos (CUNHA *et al.*, 2010).

Essas classes de solo em sua maioria apresentam, textura diversificada ao longo do perfil, geralmente, com variações texturais muito grandes entre os horizontes, resultando em diversos problemas, como má drenagem e sais, como é o caso dos Planossolos, rasos pedregosos (Neossolos Litólicos), sendo não recomendados para uso agrícola, em virtude das suas limitações quanto a profundidade, pedregosidade, rochosidade (CUNHA *et al.*, 2010).

Por essa grande variabilidade de solo a região apresenta grande potencial para o desenvolvimento da agricultura irrigada que tem sido a tecnologia mais comumente utilizada para aumentar a produção agrícola (CUNHA *et al.*, 2010).

O submédio do Vale do São Francisco é responsável pela maior parte da produção de mangueiras e videiras. Segundo Souza (2021), a área cultivada com mangueiras na região, é de aproximadamente 28 mil hectares, em 2019, sendo a maior do Brasil. Já a área com viticultura representou 13,94% da área vitícola nacional, em 2020, sendo a primeira em produção de uvas de mesa, contribuiu com 27,37% da produção nacional (AGROINSIGHT, 2020).

3.2 FRUTICULTURA NO VALE DO SÃO FRANCISCO

No submédio do Vale do São Francisco, concentra-se o maior polo de fruticultura irrigada do Brasil (AGROINSIGHT, 2020). O cultivo de mangueiras e videiras nessa região vem proporcionando grande impacto positivo, de ordem socioeconômica da região, na geração de empregos, qualidade de vida, desenvolvimento industrial, comercial e turismo.

A mangueira, mesmo sendo originária do sul da Ásia, difundiu-se na maioria dos países de clima tropical e subtropical, em razão das condições climáticas permitirem o desenvolvimento da cultura (SIQUEIRA *et al.*, 2008).

O Brasil foi o primeiro país a plantar a espécie no continente americano, conforme o Anuário Brasileiro de Fruticultura (2018), em 2017 a manga foi a segunda fruta mais exportada em volume pelo Brasil, 179,00 mil toneladas, responsável por uma receita gerada (US\$ 205,00 milhões), haja visto que 67% da área cultivada e 70% da produção brasileira é oriunda da região Nordeste.

Mesmo com uma grande variabilidade genética, a produção da cultura da mangueira concentra-se em poucas cultivares, tais como Tommy Atkins, Haden, Keitt, Kent, Palmer, Rosa e Espada (SOUZA *et al.*, 2018). No Submédio do Vale do São Francisco anteriormente, 85% dos pomares da região eram destinados ao cultivo da Tommy Atkins, no entanto, recentemente a Keitt, Kent e Palmer são as variedades mais cultivadas (LIMA NETO, 2009).

Por dispor de tecnologias específicas no manejo da floração e manipulação da época de produção através do uso de podas e reguladores vegetais, associados às condições clima, solo e irrigação, o cultivo de mangueira tem se destacado, escalonada a produção durante todo o ano (SIQUEIRA *et al.*, 2008; SOUZA *et al.*, 2018).

Outra das principais cadeias produtivas da agricultura irrigada no Nordeste brasileiro, a viticultura destaca-se no Submédio do Vale do São Francisco, representando 31% da produção nacional e 14% da área cultivadas (IBGE, 2020).

O Submédio do Vale do São Francisco responde por 99% do total das exportações brasileiras, a uva é a terceira fruta mais exportada no Brasil, atrás apenas da manga e do melão, com volumes que atingiram 49,3 mil toneladas em 2020, no qual representou o aumento de 9% em relação à 2019 (COMEXSTAT, 2021).

De acordo com Barbosa (2019), além dessa importância econômica, o cultivo de videiras, tem relevante papel social, pois gera até cinco empregos diretos por

hectare.

São produzidas cultivares de uvas de vários tipos, o forte de produção e atratividade é a uva sem semente, são atualmente cultivadas uvas de mesa desenvolvidas pela Embrapa (BRS Vitória, BRS Isis, BRS Nubia e BRS Melodia) e cultivares estrangeiras como a Arra 15[®], Sugar Crisp[®], Sweet Globe[®], introduzidas na região.

3.3 QUALIDADE DO SOLO (QS)

Entre os anos 1980 e 1990, surgiu o conceito de qualidade do solo (QS), definido como a capacidade do solo apresentar diversas funções dentro dos limites de seu uso da terra e do ecossistema, mantendo a melhor qualidade ambiental e contribuindo com a produtividade biológica, saúde das plantas, dos animais e humana (DORAN; PARKIN, 1994).

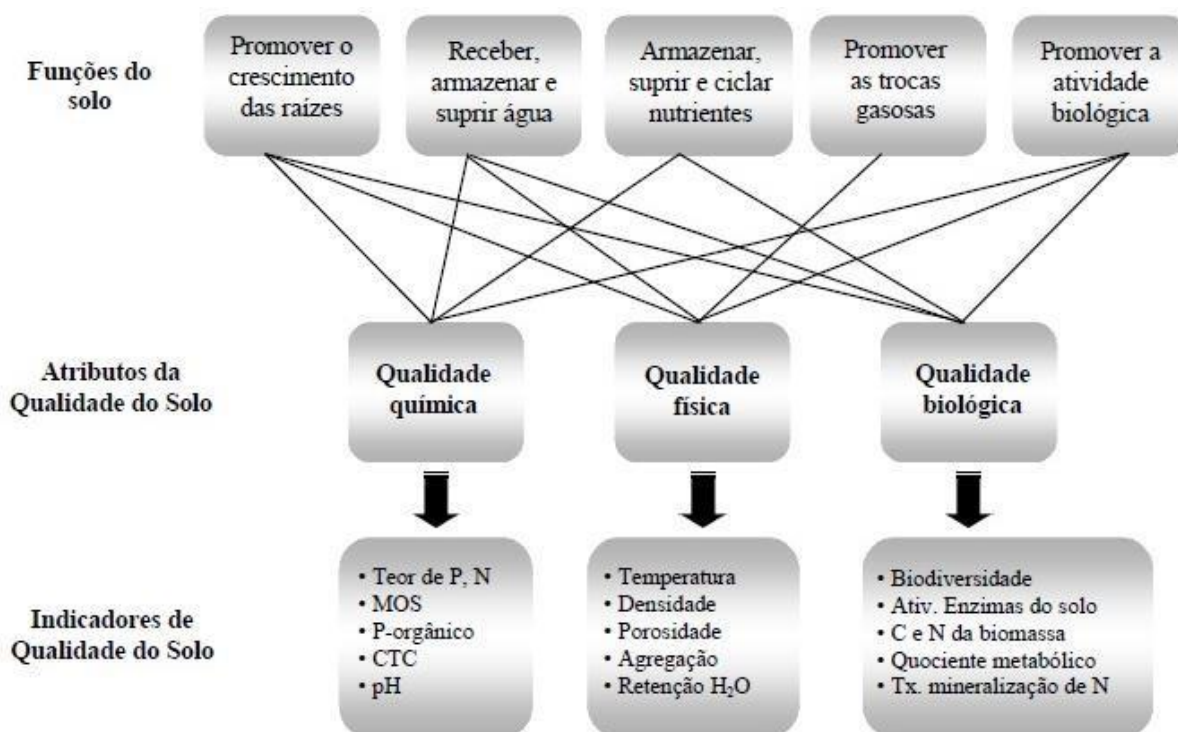
As preocupações com a sustentabilidade ambiental e conservação dos recursos naturais tem promovido nos últimos anos, interesse acerca da qualidade do solo, no sentido de como avaliá-la, haja visto que o solo é considerado uma das principais base de suporte a produção agrícola, exercendo funções no meio ambiente, que conseqüentemente contribuem de forma positiva para a qualidade ambiental (ZORNOZA *et al.*, 2015). Porém, as variações dos atributos químicos, físicos e biológicos, aliado à heterogeneidade dos solos, proporcionam dificuldades na avaliação de parâmetros-chave que consigam servir como indicadores de sua qualidade (MENDES *et al.*, 2015).

De acordo com Lopes *et al.* (2013), além da lacuna no que diz respeito à identificação de parâmetros-chave, existem também a de solos, que sejam considerados referência de qualidade. Nesse sentido, Gil-Sotres *et al.* (2005) relatam que se torna relevante a caracterização dos indicadores mediante a utilização de áreas de vegetação nativa no qual os atributos e propriedades estão em equilíbrio, em decorrência da mínima perturbação ao meio ambiente, e também em solos capazes de preservar a alta produtividade.

O solo promove o suporte físico, a retenção e o movimento da água no perfil e a disponibilidade de nutrientes para as plantas, possuindo uma grande diversidade microbiana, atuando como regulador ambiental, por meio de ciclagem de nutrientes.

Nesse contexto, as funções do solo em relação à produção vegetal, possuem relação direta com os atributos químicos, físicos e biológicos do solo (Figura 1), de modo que os atributos não são mensurados diretamente, ou seja, necessitam que indicadores sejam selecionados (CHAER, 2001; LOPES *et al.*, 2013).

Figura 1 - Funções, atributos e indicadores de qualidade do solo.



Fonte: Chaer (2001).

A determinação dos índices de qualidade do solo (IQS) é realizada mediante um agrupamento mínimo de parâmetros que, quando interligados, produz dados numéricos e através de um modelo matemático pode ser obtido o potencial do solo para realizar uma ou mais funções (CHAER, 2001).

O cálculo do IQS é obtido com base nos indicadores de qualidade que estão suscetíveis a mudanças pelas condições climáticas e ações antrópicas, assim conseguindo ser alterados em resposta às variações do solo (MARZAIOLI *et al.*, 2010). De acordo com Zhang *et al.* (2016) um IQS pode ser útil para monitorar as condições gerais e identificação de manejos mais adequados, sendo eficaz na avaliação das alterações provocadas pelas atividades agrícolas e naturais.

Os indicadores devem conter características essenciais como: consistência em relação às mudanças de suscetibilidade para um maior número de agentes

degradantes; fácil estimativa e com preço de determinação razoável; eficiência de refletir os diferentes níveis de degradação e fácil interpretação (ELLIOT *et al.*, 1994).

Segundo Mendes *et al.* (2015), Peixoto *et al.* (2010), Lopes *et al.* (2013), os indicadores biológicos são mais sensíveis que os físicos e químicos, para detectar as alterações que ocorrem no solo, além de conseguirem determinar a intensidade de processos bioquímicos, relacionados com a atividade biológica apresentando respostas às mudanças em função do uso e manejo solo.

Mendes *et al.* (2019), propõe a atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase como os principais indicadores de avaliação da qualidade biológica do solo, pois as mesmas apresentam correlações positivas com o carbono da biomassa microbiana, respiração basal, fosfatase ácida, fosfatase alcalina, celulose e Desidrogenase

3.4 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MOS)

A Qualidade do solo está intimamente ligada à MOS, constituída basicamente por C, H, O, N, S e P, a MOS é um dos grandes reservatórios de nutrientes (VILELA; MENDONÇA, 2013). Considerada o componente principal da fertilidade de solos de regiões de clima tropical e subtropical, desempenhando funções primordiais na capacidade de troca catiônica (CTC), proporcionando uma maior retenção de cátions, favorecendo a construção de um ambiente estruturado, dessa forma constituindo um meio ideal para o desenvolvimento do sistema radicular e das plantas (NANZER *et al.*, 2019; TAVARES FILHO *et al.*, 2020).

A MOS é constituída por todos os derivados de materiais vegetais e animais incorporados ao solo na forma viva ou nos vários estágios de decomposição, resultante da ação de microrganismos (BERILLI *et al.*, 2019). Responsável pela manutenção da produtividade do solo, a MOS atua como principal fonte de C para os microrganismos, uma vez que o C orgânico compreende em média 58% da MOS, sendo um dos componentes principais (BORDONAL *et al.*, 2017).

A MOS é dividida em frações viventes (raízes, fauna e microrganismos), constituindo cerca de menos de 5% da MOS, no entanto, desempenha importantes funções no solo, na regulação da ciclagem de nutrientes e fluxo de energia no solo, podendo ser fonte ou dreno desses processos (CUNHA *et al.*, 2016). A fração não-

vivente representa os outros 95% da MOS, constituída por humus, carvão e matéria orgânica leve, resíduos orgânicos parcialmente humificados em vários estádios de decomposição (SOUSA *et al.*, 2015).

Em razão da complexidade da MOS e diferentes funções de seus compartimentos, técnicas de fracionamento químico e físico são usadas para avaliar impactos ocasionados pelos diferentes manejos e uso das propriedades do solo (DICK *et al.*, 2016). No fracionamento químico, segundo Dortzbach *et al.* (2020), são avaliados os níveis de C das diferentes frações do material húmico, com base na solubilidade em meio ácido e básico das substâncias húmicas que correspondem a mais de 70% do C presente no solo.

O fracionamento físico é possível ser dividido em densimétrico e granulométrico. O densimétrico através da separação das frações orgânicas por densidade, obtendo as frações leve, podendo subdividir em frações leve livre e fração leve oclusa dentro dos agregados e fração pesada associada aos minerais (DICK *et al.*, 2016).

O Fracionamento granulométrico considera duas frações básicas da MOS: matéria orgânica particulada que corresponde às frações obtidas ao tamanho areia (> 0,053 mm), ou seja, resíduos intactos (folhas, raízes) mais suscetíveis ao manejo, e a matéria orgânica associada ao componente mineral do solo que são as frações argila e silte (< 0,053 mm), originando complexos organo-minerais, com maior resistência ao manejo do solo (DORTZBACH *et al.*, 2020).

O estoque de C no solo pode ser quantificado com os teores de MOS. Em regiões semiáridas, a redução do estoque de C acontece de forma mais rápida, em decorrência das condições climáticas que potencializam a atividade microbiana, acelerando a decomposição dos resíduos depositados no solo (BERILLI *et al.*, 2019). Outro fator a ser considerado é o revolvimento do solo mediante a práticas agrícolas convencionais que aceleram a oxidação da MOS, proporciona sua mineralização, e intensifica as perdas por erosão, no entanto, sistemas que visam o incremento da matéria orgânica na superfície do solo, favorecem o aumento no estoque de C no solo (PORTUGAL *et al.*, 2008).

3.5 BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

A qualidade do solo é avaliada por meio da utilização de indicadores, que por

sua vez refletem as condições ambientais, classificados de acordo com sua natureza químicos, físicos e biológicos (BÜNEMANN *et al.*, 2018). Os microrganismos são utilizados como indicadores biológicos ou bioindicadores da qualidade do solo, indicando a situação real do ecossistema, nesse contexto, torna-se cada vez mais importante a biota edáfica para o funcionamento dos solos cultivados e a sustentabilidade do ecossistema, conseqüentemente, conservação dos recursos naturais e aumento da produtividade agrícola (BÜNEMANN *et al.*, 2018; MENDES *et al.*, 2015).

Segundo Araújo & Monteiro (2007), nas primeiras camadas do solo, especificamente entre 1 e 30 cm de profundidade, a atividade microbiológica é altamente intensificada, mesmo que nessa profundidade o componente biológico (microrganismos), que desempenha várias funções essenciais para o funcionamento do solo, ocupe uma fração inferior a 0,5% do volume total do solo, representando menos que 10 % da matéria orgânica.

Diferentemente dos indicadores químicos ou físicos, a atividade microbiana do solo detém a capacidade de apresentar repostas rápidas a alterações na qualidade do solo, em resposta a sua sensibilidade (LOPES *et al.*, 2013). Nesse sentido, frequentemente tem sido proposto como indicador de estresse ecológico, o funcionamento microbiológico e bioquímico do solo, no entanto, os indicadores químicos e físicos já se encontram bem definidos para cada nutriente e tipo de solo, dessa forma, havendo dificuldades na interpretação dos bioindicadores, devido à base de informações disponível sobre os dados biológicos ainda ser muito pequena (LOPES *et al.*, 2013; MENDES *et al.*, 2015; MENDES *et al.*, 2019).

Dentre os indicadores frequentemente utilizados para caracterizar e avaliar funcionamento microbiológico do solo, destacam-se biomassa microbiana, atividade e diversidade microbiana (CAVALCANTE *et al.*, 2020). Indicadores microbiológicos como teor de carbono da biomassa microbiana, emissão de CO₂ e as atividades das enzimas β-glicosidase e arilsulfatase, são os mais propostos como bioindicadores de qualidade do solo, permitindo identificar, com maior antecedência modificações que ocorrem no solo em virtude do seu uso e manejo (CAVALCANTE *et al.*, 2020; LOPES *et al.*, 2013; MENDES *et al.*, 2015; SANTOS; MAIA, 2013).

Atualmente, foram realizadas algumas pesquisas, relacionando níveis críticos de cada um desses bioindicadores, especificamente no bioma Cerrado sob cultivo de soja e milho em Latossolos, avaliando o rendimento acumulado de grãos e ao teor de

carbono orgânico do solo (LOPES *et al.*, 2013; LOPES *et al.*, 2018). Portanto, existe uma necessidade de maior número de estudos para definição dos níveis de interpretação de bioindicadores em baixo, moderado e adequado, a fim de atender de forma expressiva o manejo nos diferentes biomas e cultivos agrícolas.

3.6 BIOMASSA MICROBIANA

Parte dos compostos presentes nos resíduos resultantes da decomposição e mineralização da fração orgânica, são assimilados pelos microrganismos como fonte de nutrientes e energia para formação de sua biomassa, desse modo parâmetros que determinam a atividade microbiana ganha importância, tais como biomassa microbiana do solo, respiração basal, quociente metabólico e atividade enzimática do solo, indicando as mudanças na qualidade do solo (NAIR; NGOUAJIO, 2012).

A biomassa microbiana do solo (BMS) é constituída principalmente por fungos, bactérias e arqueias, ou seja, a parte viva e mais ativa da matéria orgânica, com exceção da macrofauna e raízes das plantas. 90% da atividade da BMS é desenvolvida pelas bactérias e fungos, expresso em μg de C g^{-1} de solo ou mg de C kg^{-1} de solo, compreendendo de 1 a 5% do carbono orgânico total (COT), assim desempenhando várias funções como mineralização, imobilização de nutrientes e processos de biorremediação (LOPES *et al.*, 2013).

As alterações na BMS na matéria orgânica, podem ser detectadas com maior antecedência, em virtude da sua sensibilidade, a vista disso, a BMS tem sido proposta como um indicador do estado da matéria orgânica do solo (GUIMARÃES *et al.*, 2017; MENDES *et al.*, 2011).

A quantidade de carbono (C) que a BMS imobiliza em sua célula representa o carbono da biomassa microbiana (CBM), considerado um compartimento central do ciclo do C, assim podendo servir como indicador para avaliar o tamanho da comunidade microbiana (GUIMARÃES *et al.*, 2017). O CBM é influenciado tanto pelos teores de matéria orgânica resultando em baixo C lábil, quanto pela temperatura, pois baixas temperaturas os microrganismos tendem a diminuir sua atividade metabólica (GALLO *et al.*, 2019).

A biomassa microbiana pode ser avaliada por métodos diretos como a microscopia dos componentes da BMS como bactérias e fungos, considerado o método mais antigo, substituído por métodos indiretos como a clorofórmio-fumigação-

extração, clorofórmio-fumigação-incubação e a respiração induzida pelo substrato, além disso, existe com alternativa o método da quantidade de ácidos graxos ligados a ésteres de fosfolipídios (PFLAs) no solo pode também ser utilizado na determinação da biomassa microbiana (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

No método da clorofórmio-fumigação-extração, a fumigação do solo com clorofórmio promovendo eliminação dos microrganismos. Desse modo, podem ser extraídos o C, N e P por K_2SO_4 , estimando sua quantidade na BMS (VANCE *et al.*, 1987). O método da clorofórmio-fumigação-incubação consiste na fumigação de uma amostra de solo com clorofórmio, provocando um fluxo de CO_2 e NH_4 , em decorrência da decomposição dos microrganismos mortos pela fumigação (JENKINSON; POLWSON, 1976).

As atividades metabólicas dependem do estado fisiológico das células, podendo ser influenciadas por diversos fatores tais como umidade do solo, temperatura, disponibilidade de nutrientes, quantidade de C orgânico, pluviosidade e qualidade da matéria orgânica, sendo que uma alta taxa de respiração indica maior atividade microbiana (ROSA *et al.*, 2020).

3.7 ATIVIDADE ENZIMÁTICA DO SOLO

As enzimas no solo participam ativamente das reações metabólicas, resultantes na manutenção dos seres vivos, atuam nos ciclos biogeoquímicos de elementos essenciais como o fósforo (P), enxofre (S) e nos fluxos de carbono, nitrogênio, além de serem catalisadoras de reações que favorecem a decomposição de resíduos orgânicos complexos (ligninases, celulases, proteases, glucosidases, galactosidases), ciclagem de nutrientes (fosfatases, amidases, urease, sulfatase) e formação da MOS (LOPES *et al.*, 2018; MENDES *et al.*, 2015).

Enzimas como a β -glucosidase e a arilsulfatase que são associadas ao ciclo do carbono e enxofre, respectivamente, foram as que se mostraram mais sensíveis para detectar perturbações do solo, a vista disso tem sido analisado seu potencial de uso como indicadores de qualidade do solo, especialmente no Cerrado (PEIXOTO *et al.*, 2010; LOPES *et al.*, 2013) e no sul do Brasil (LISBOA *et al.*, 2012; MENDES *et al.*, 2015). Segundo Balota *et al.* (2014), essas enzimas podem ser encontradas na solução do solo, no interior de células ou ligadas a membranas celulares, adsorvidas na superfície de minerais de argila ou polimerizadas com substâncias húmicas.

De acordo com Mendes *et al.* (2011) a atividade enzimática do solo resulta no somatório das atividades das enzimas de organismos vivos e das enzimas abiômicas, que se situam associadas à fração não viva que é acumulada no solo, pela sua adsorção a partículas de argila ou a matéria orgânica, sendo protegidas da ação de proteases.

Uma das enzimas mais comuns encontradas no solo, microrganismos, plantas e células animais, a β -Glicosidase, tendo grande importância na hidrólise de celobiose (dissacarídeo de rápida decomposição no solo), agindo no final da etapa de degradação da celulose, em resíduos de glicose, importante carboidrato que serve de fonte de energia para os microrganismos, no entanto, seu funcionamento pode ser influenciado por fatores como pH, temperatura do solo, qualidade e quantidade de MOS (LOPES *et al.*, 2013; TABATABAI, 1994).

A hidrólise de ésteres de sulfato no solo, se dá em função das atividades da enzima arilsulfatase, desempenham grande importância no ciclo orgânico do enxofre, tendo em vista que seu funcionamento também é influenciado por fatores ambientais (KERTESZ; MIRLEAU, 2004).

A determinação da atividade enzimática é feita por meio de ensaios simples, utilizando os métodos descritos por Tabatabai (1994), através da adição de substratos específicos para cada enzima, após um curto período de incubação do solo com uma solução tamponada, em que as amostras são filtradas e feito a determinação da atividade da enzima por colorimetria do *p*-nitrofenol (coloração amarela), haja visto de quanto maior a intensidade da coloração, maior a atividade da enzima (MENDES *et al.*, 2011).

Em pesquisa realizada por Lopes *et al.* (2013), essa metodologia se mostrou eficiente na avaliação da qualidade biológica de solos agrícolas, evidenciando correlação entre atividade enzimática e a produtividade de sistemas de cultivo.

Nesse sentido, utilizaram-se os princípios dos ensaios de calibração de nutrientes, desenvolvendo conceito de amostra de solo para fertilidade química e biológica do solo (Fertbio), conceito esse que propõe unificar a época de amostragem para análise química e microbiológica (MENDES *et al.*, 2019), assim todos os atributos microbiológicos foram correlacionados com os rendimentos acumulado de Grãos, determinado as classes de interpretação para a atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase (Tabela 1), (MENDES *et al.*, 2019; Lopes *et al.*, 2013).

Tabela 1 - Classes de interpretação de bioindicadores para Latossolos Vermelhos argilosos de Cerrado, sob cultivos anuais, na camada de 0 a 10 cm, utilizando o conceito Fertbio: específica para amostras de solo coletadas na fase de pós-colheita e secas ao ar.

Bioindicador	Classe de interpretação		
	Baixo	Moderado	Adequado
β -Glicosidase	≤ 63	64-107	> 108
Arisulfatase	≤ 30	31-70	> 71

Valores de atividade de β -glicosidase e arilsulfatase expressos em $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol/g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$. Fonte: Adaptado de Mendes *et al.* (2019).

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Prospectar os níveis da atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase em solos com cultivo irrigado e com caatinga nativa.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a atividade enzimática do solo em sistemas de cultivo com mangueira (*Mangifera indica*), videira (*Vitis vinifera*) e em áreas com vegetação nativa da Caatinga;
- Correlacionar o carbono da biomassa microbiana com atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase;
- Correlacionar carbono da biomassa microbiana e atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase com os indicadores químicos (pH, P, K, Mg, Ca e COT).
- Correlacionar os bioindicadores com as frações granulométricas do solo.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

O estudo observacional foi realizado no ano de 2022, no submédio do São Francisco, em condições de experimentação natural, e constituiu do estudo inclusivo da variação natural do solo em áreas cultivadas.

Foram coletadas amostras de solo nos municípios de Petrolina, nos núcleos de irrigação N4, N5, N8 e Maria Tereza do Perímetro de Irrigação Senador Nilo Coelho (PISNC), em Juazeiro no Perímetro de Irrigado Salitre e no Ibó na Fazenda Agrodan.

O clima da região conforme a classificação de Köppen é do tipo BSh, ou seja, semiárido quente, com precipitações pluviométricas anual inferior a 443, 393 e 429 mm, para Petrolina, Juazeiro e Ibó, respectivamente, distribuídas irregularmente entre os meses de novembro a abril. As temperaturas nos meses mais frios do ano são superiores a 18°C, com uma média anual de 27°C, e a evapotranspiração é da ordem de 2700 a 3000 mm anuais.

5.2 COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS

Foram coletadas 1925 amostras simples de solo, para obtenção de 77 amostras compostas, na profundidade de 0 a 10 cm, utilizando-se um trado de 5 cm de diâmetro, subdivididas em 36, 31 e 10 áreas como os respectivos cultivos: videira (*Vitis vinifera*), mangueira (*Mangifera indica*) e vegetação nativa da Caatinga, respectivamente (Tabela 2, 3 e 4), nos meses de junho e julho de 2022. Na sequência as amostras foram encaminhadas ao laboratório de análise de solo e planta do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IF-Sertão-PE), Campus Petrolina, Zona Rural.

Tabela 2 - Descrição do histórico e manejo das áreas cultivadas com videiras.

Local	Longitude	Latitude	Cultivar	QE (L/Planta)	Idade (Anos)	Porta enxerto	AV	SI	P/ha
Salitre	322774.93	8939064.76	Itália	20	5	IAC 572	Sim	Gotejo	1666
Salitre	322898.21	8939030.01	Itália	20	5	IAC 573	Sim	Gotejo	1666
Salitre	323508.91	8943664.40	Vitória	20	3	SO4	Não	Gotejo	1250
Maria Tereza	328120.53	8983499.27	Vitória	40	4	SO4	Não	Gotejo	1428
Maria Tereza	327209.48	8983107.08	Itália	40	8	313	Não	Gotejo	1428
Maria Tereza	326745.37	8983469.57	Melodia	40	8	313	Não	Gotejo	1428
Maria Tereza	326701.53	8983531.08	Nubia	20	4,5	SO4	Não	Gotejo	1666
Maria Tereza	326861.13	8983018.90	Isis	20	2	SO4	Não	Gotejo	1666
N5	324984.57	8963266.47	Vitória	20	3	SO4	Não	Gotejo	1428

N4	318343.71	8965969.42	Vitória	25	2	SO4	Não	Gotejo	1904
N4	318422.15	8965893.91	Vitória	25	2	SO4	Não	Gotejo	1904
Salitre	322475.78	8941746.38	Isis	20	4	SO4	Não	Gotejo	1428
Salitre	322593.08	8941678.88	Arra 15	20	5	SO4	Não	Gotejo	1428
Salitre	323775.82	8939837.27	Vitória	20	1,9	SO4	Não	Gotejo	1442
Salitre	324559.34	8938999.32	Vitória	20	6	SO4	Não	Gotejo	1442
Salitre	324674.77	8938814.46	Vitória	20	6	SO4	Não	Gotejo	1442
N4	318785.32	8966334.48	Vitória	20	3	SO4	Não	Difusor	1250
N4	318763.54	8966372.42	Arra 15	20	3	Palsen	Não	Difusor	2500
N4	318723.83	8966387.21	Arra 15	20	3	Palsen	Não	Difusor	2500
N4	318694.64	8966403.74	Vitória	20	7	SO4	Não	Difusor	1250
N4	318672.91	8966404.83	Vitória	20	7	SO4	Não	Difusor	1250
N4	318632.70	8966426.35	Vitória	20	6	SO4	Não	Difusor	1250
N4	318516.81	8966446.04	Vitória	20	8	SO5	Não	Difusor	1250
N4	309826.42	8967116.80	Vitória	5	5	313	Não	Difusor	1272
N4	309738.62	8967082.18	Isis	5	5	313	Não	Difusor	1272
N4	309600.85	8967023.28	Vitória	5	5	313	Não	Difusor	1378
N4	309507.73	8966969.44	Benitaka	5	5	313	Não	Difusor	1378
N4	313761.90	8967717.82	Itália	10	22	572	Não	Micro	952
N8	331642.18	8967693.17	Arra 15	20	7	Palsen	Não	Gotejo	1488
N8	331728.30	8968051.19	Isis	20	5	SO4	Não	Gotejo	1350
N8	331646.93	8968160.84	Arra 33	20	2	SO5	Não	Gotejo	1200
N8	331730.88	8967282.89	Arra 15	20	7	Palsen	Não	Gotejo	1300
N8	331546.21	8967841.41	Vitória	20	7	313	Não	Gotejo	845
N8	331923.20	8967983.10	Sugar Crips	20	1	Palsen	Não	Gotejo	845
N4	317241.87	8961996.01	Vitória	20	3	SO4	Não	Gotejo	1250
Salitre	322296.29	8942689.92	Vitória	20	5	SO4	Não	Gotejo	1428

QE= Quantidade de esterco (L/Planta); AV= Adubação verde; SI= Sistema de irrigação; Gotejo: gotejamento; Micro: microaspersão; P/ha=plantas por hectare.

Tabela 3 - Descrição do histórico e manejo das áreas cultivadas com mangueiras.

Local	Longitude	Latitude	Cultivar	QE(L/Planta)	Idade (Anos)	Si	P/ha
Agrodan	468260.00	9051568.65	Keitt	10	31	Gotejo	250
Agrodan	468165.46	9051704.73	Tommy	10	31	Gotejo	250
Agrodan	468325.93	9051748.83	Tommy	10	31	Gotejo	250
Agrodan	468246.69	9051934.01	Tommy	10	31	Gotejo	250
Agrodan	468106.87	9052127.31	Tommy	10	31	Gotejo	250
Agrodan	469185.09	9051965.75	Tommy	10	20	Gotejo	394
Agrodan	469259.16	9051844.91	Tommy	10	20	Gotejo	394
Agrodan	469361.60	9051615.75	Tommy	10	20	Gotejo	394
Agrodan	469550.79	9051275.34	Kent	10	20	Gotejo	394
Agrodan	469600.87	9050685.44	Keitt	10	7	Gotejo	1333
Agrodan	469092.24	9052100.19	Tommy	10	9	Gotejo	394
Agrodan	469287.92	9050597.10	Keitt	10	7	Gotejo	1333
Agrodan	469430.00	9051073.57	Palmer	10	7	Gotejo	1333

Agrodan	469243.33	9051567.28	Palmer	10	7	Gotejo	1333
Agrodan	469201.32	9051635.47	Palmer	10	7	Gotejo	1333
Agrodan	468763.57	9052674.38	Palmer	10	6	Gotejo	1333
Agrodan	469052.38	9051691.00	Keitt	10	7	Gotejo	1333
Agrodan	468810.74	9052108.75	Keitt	10	6	Gotejo	1333
Agrodan	469204.02	9050741.05	Keitt	10	7	Gotejo	1333
Agrodan	468914.31	9051649.94	Keitt	10	7	Gotejo	1333
Agrodan	468751.70	9051937.82	Palmer	10	6	Gotejo	1333
Agrodan	468465.87	9052644.10	Palmer	10	6	Gotejo	1333
Agrodan	468621.48	9051819.17	Keitt	10	6	Gotejo	1000
Agrodan	468497.46	9052087.08	Keitt	10	6	Gotejo	1333
Agrodan	468287.49	9052375.69	Keitt	10	6	Gotejo	1000
Agrodan	469192.99	9050444.73	Palmer	10	5	Gotejo	714
Agrodan	468906.83	9050115.23	Palmer	10	5	Gotejo	714
Agrodan	469106.23	9050360.48	Palmer	10	5	Gotejo	714
Salitre	324166.79	8939591.75	Palmer	15	5	Gotejo	250
Salitre	324283.75	8939530.53	Palmer	15	5	Gotejo	250

QE= Quantidade de esterco (L/Planta); SI= Sistema de irrigação; SI= Sistema de irrigação; Gotejo: gotejamento; P/ha=plantas por hectare.

Tabela 4 - Descrição do histórico áreas de vegetação nativa da Caatinga.

Local	Longitude	Latitude	Vegetação
N4 (IF-Sertão)	314528.22	8967093.79	Caatinga hiperxerófila
N4 (IF-Sertão)	314501.15	8966846.19	Caatinga hiperxerófila
N4 (IF-Sertão)	314452.91	8966742.00	Caatinga hiperxerófila
N4 (IF-Sertão)	314292.91	8967001.82	Caatinga hiperxerófila
N4 (IF-Sertão)	313917.63	8967170.76	Caatinga hiperxerófila
N4 (IF-Sertão)	313892.08	8967258.36	Caatinga hiperxerófila
N4 (IF-Sertão)	313952.07	8967668.88	Caatinga hiperxerófila
N4 (IF-Sertão)	313598.37	8967483.48	Caatinga hiperxerófila
N4 (IF-Sertão)	314311.80	8967435.02	Caatinga hiperxerófila
N4 (IF-Sertão)	314392.04	8967280.05	Caatinga hiperxerófila

As amostras de solo coletadas foram acondicionadas em bandejas, espalhadas e destorroadas, ficando em um local ventilado e seco para a completa dessecação ao ar. Após a secagem, o solo foi passado em peneira de malha de 2 mm e o material peneirado depositado em sacos plásticos.

5.3 ANÁLISES FÍSICAS DO SOLO

A granulometria foi realizada pelo método da pipeta que consiste na determinação da argila total após dispersão das partículas do solo por agentes

químicos e ação mecânica, coletando-se o sobrenadante depois da sedimentação do Silte (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

5.4 ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO

Foram determinados, o potencial hidrogeniônico (pH) utilizando o método de extração em água destilada, na proporção de 1:2,5 através da imersão de um eletrodo na solução homogeneizada. Por meio do extrator Mehlich-1, foi realizado as extrações de P e K realizando-se a leitura do P no espectrofotômetro de absorção molecular com um comprimento de onda de 660 nm e as leituras de K no fotômetro de chamas calibrado para 20 ppm. Com KCl 1 mol L⁻¹ foi extraído Ca e Mg obtendo suas respectivas leituras por espectrofotometria de absorção atômica. O C orgânico total (COT) foi avaliado por oxidação úmida. A determinação de todos esses indicadores foi realizada conforme os procedimentos recomendados por Teixeira *et al.* (2017).

5.5 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DO SOLO

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi estimado pelo método de fumigação-extração (VANCE *et al.*, 1987). Amostras fumigadas e não fumigadas foram submetidas a extração de K₂SO₄ (0,5 M) e a quantificação do CBM obtida por titulação com sulfato ferroso amoniacal (0,033 N).

A atividade das enzimas β-glicosidase e arilsulfatase foram estimadas de acordo com Tabatabai (1994), baseado na determinação colorimétrica do *p*-nitrofenol (coloração amarela) liberado pelas enzimas, quando o solo é incubado com uma solução tamponada de *p*-nitrofenil β-D-glicopiranosídeo (PNG) e *p*-nitrofenil sulfato (PNS) para a determinação da β-glicosidase e arilsulfatase, respectivamente.

A marcha analítica sucedeu-se da seguinte forma: foi pesado 1,00 g de solo livre de resíduos orgânicos e colocados em erlenmeyer de 50 mL. Em seguida adicionado à solução tamponada (acetado de sódio pH 5,8 ou MUB pH 6) e o PNG (para a determinação da enzima β-glicosidase) e/ou PNS (para a determinação da enzima arilsulfatase), sendo incubado por uma hora a 37°C com rolhas de borracha para evitar a evaporação.

Passado o tempo estabelecido foram adicionados CaCl₂, THAM pH 12 e PNG ou PNS aos frascos controle, haja visto que nas amostras para determinação da

Videiras	6,7±0,1*	26,1±1,9*	319,6±49,6*	0,5±0,1*	7,3±0,4*	2,0±0,2*	280,1±26,5*
Mangueiras	6,3±0,1*	15,1±1,4*	99,2±13,4*	0,2±0,0*	6,3±0,3*	0,9±0,1*	117,8±14,0*
Caatinga	5,9±0,2*	15,8±3,7*	4,3±0,7*	0,2±0,0*	2,5±0,1*	0,6±0,1*	132,1±21,1*

* Erro padrão, Carbono Orgânico Total (COT), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) e potencial hidrogeniônico (pH).

Os valores médios para os atributos químicos do solo para o cultivo de videiras foram classificados como altos, já nas áreas com mangueira os níveis de P (99,2 mg dm⁻³), COT (15,1 g kg⁻¹), Ca (6,23 cmol_c dm⁻³) foram considerados altos, e o K (0,2 cmol_c dm⁻³), Mg (0,9 cmol_c dm⁻³) baixos, e na vegetação nativa da Caatinga apenas o K (0,2 cmol_c dm⁻³) e Ca (2,5 cmol_c dm⁻³) obtiveram níveis medianos, conforme classes de interpretação de fertilidade do solo (SOBRAL *et al.*, 2015).

Os maiores valores de COT foram encontrados no cultivo com videiras (26,1 g kg⁻¹), diferindo dos demais. Esse aumento está relacionado ao aporte de matéria orgânica, na forma de esterco, que faz parte da grade de manejo dessas culturas.

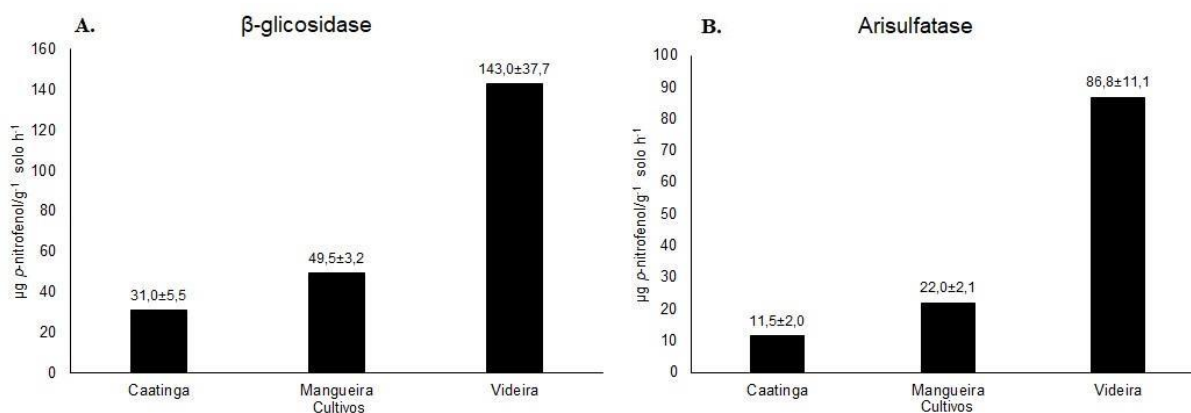
Mesmo recebendo de 20 a 30 L/planta/ano de esterco (CAVALCANTI *et al.*, 2008), o cultivo de mangueira não obteve resultados superiores à vegetação nativa da Caatinga. Em função do manejo adotado a MOS pode apresentar alterações na sua distribuição no solo, em que os resíduos incorporados são geralmente decompostos com maior velocidade, devido no interior do solo ocorrem temperaturas mais amenas e uma maior umidade e aeração, favorecendo o maior ataque microbiano, acelerando os processos de decomposição (SHARMA *et al.*, 2017).

O CBM obteve maiores médias no cultivo com videiras 280,1 mg C microbiano kg⁻¹ solo, esse incremento pode ser explicado, em grande parte, pela maior disponibilidade de COT. As médias de CBM na Caatinga e áreas de mangueiras mantiveram-se próximas. Segundo Primieri *et al.* (2017), em ecossistemas naturais (Caatinga), há uma tendência de se obter maiores valores de CBM, proporcionando uma maior quantidade de carbono estável presente no solo, principalmente nas primeiras camadas, favorecidos pela não ação antrópica, que por sua vez, favorecem o aumento da atividade microbiana, com reflexo direto no aumento de carbono nas camadas superficiais do solo.

Verifica-se na figura 2 que a atividade das enzimas β-glicosidase e Arisulfatase, logo o cultivo com videira obteve as maiores médias 143,0 e 86,8 μg p-nitrofenol/g⁻¹ solo h⁻¹ para a β-glicosidase e Arisulfatase, respectivamente, em relação ao cultivo com mangueira e vegetação nativa da Caatinga. Mendes *et al.* (2011), destacam que

um dos principais fatores que pode afetar a atividade enzimática é a quantidade e qualidade dos resíduos vegetais, podendo ser um dos fatores que acarretaram menores valores nas áreas de Caatinga em relação as manejadas.

Figura 2 - Atividade enzimática da β -glicosidase e Arisulfatase em áreas cultivadas com mangueira, videira e vegetação nativa da Caatinga.



Os resultados de estatística descritiva para os parâmetros de medida de tendência central (média e mediana) e de dispersão (desvio padrão, erro padrão e coeficiente de variação) das enzimas β -glicosidase e Arilsulfatase estão descritos nas Tabelas 6 e 7.

Para as enzimas β -glicosidase e Arisulfatase no cultivo de videiras observa-se que a média e a mediana, desvio padrão e coeficiente de variação (CV) encontraram-se distantes, observando uma oscilação nos valores mínimos e máximos. As áreas de vegetação nativa da Caatinga apresentaram coeficiente de assimetria negativa (Tabela 6), demonstrando uma tendência de considerável quantidade de valores maiores que a média aritmética.

Quando comparados os valores de média, mínimo e máximo dos resultados obtidos nas tabelas 6 e 7, com as classes de interpretação fornecidos na tabela 1, é observado uma discrepância nos resultados, observados também pelo erro padrão, podendo ser atribuído ao ensaio de calibração que foi realizado especificamente no bioma Cerrado sob cultivo de soja e milho em Latossolos (LOPES *et al.*, 2013; LOPES *et al.*, 2018; MENDES *et al.*, 2019)

O Submédio São Francisco, está inserido no Bioma Caatinga, apresentando uma elevada variabilidade de solos e cultivos perenes. De acordo com Freitas *et al.* (2012), é uma região que o input de MOS, aplicada anualmente nas frutícolas, variam

de 20 a 60 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, além de dispor de sistemas de irrigação de alta frequência, como o gotejamento, disponibilizando nutrientes via fertirrigação em quantidade significativa. Assim, relacionando diretamente com o desenvolvimento da população microbiana. Evidenciando, uma necessidade de maior número de estudos para definição dos níveis de interpretação de bioindicadores, com o intuito de atender de forma expressiva o manejo nos diferentes biomas e cultivos agrícolas.

Tabela 6 - Análise descritiva da atividade enzimática da β -glicosidase em áreas cultivadas com mangueira, videira e vegetação nativa da Caatinga.

Cultivo	Méd	EP	Med	DP	Min.	Máx	Coeficientes	
							Ass	CV (%)
Videiras	143,03	37,7	79,00	226,59	17,00	906,00	3,07	158,43
Mangueiras	49,42	3,2	53,00	17,63	22,00	96,00	0,37	35,68
Caatinga	30,90	5,5	32,50	17,27	3,00	59,00	-0,20	55,90

Méd = média, EP: erro padrão; Med: mediana, DP = Desvio Padrão, Mín = valor mínimo, Max = valor máximo, Ass: Assimetria, CV: Coeficiente de Variação [CV% = (Desvio-padrão/Média) x 100].

Tabela 7 - Análise descritiva da atividade enzimática da Arisulfatase em áreas cultivadas com mangueira, videira e vegetação nativa da Caatinga.

Cultivo	Méd	EP	Med	DP	Min.	Máx	Coeficientes	
							Ass	CV (%)
Videiras	86,84	11,1	65,47	67,00	11,51	263,09	1,08	77,15
Mangueiras	21,95	2,1	18,57	11,75	5,07	44,49	0,43	53,52
Caatinga	11,53	2,0	11,11	6,35	2,56	23,42	0,57	55,10

Méd = média, EP: erro padrão; Med: mediana, DP = Desvio Padrão, Mín = valor mínimo, Max = valor máximo, Ass: Assimetria, CV: Coeficiente de Variação [CV% = (Desvio-padrão/Média) x 100].

Ao analisar a correlação linear de Pearson para os atributos químicos, físicos e biológicos do solo nos sistemas de cultivo com videiras, mangueiras e vegetação nativa da Caatinga, respectivamente (Tabela 8), verifica-se que as variáveis que foram significativas obtiveram em sua maioria valores de interação positiva ao nível de $p < 0,01$ de probabilidade.

Observa-se que a enzima Arilsulfatase foi o indicador que mais obteve correlações positivas com o COT (0.4), P (0.5), Ca (0.4) e Mg (0.4). Em contraste, foi observado correlação entre o K e a enzima β -glicosidase. Segundo Santos (2007), correlações positivas, reflete a relação direta entre as duas variáveis, evidenciando que à medida que o teor de uma variável aumenta a outra tende a aumentar também.

Nas correlações negativas, de acordo com Santos (2007), os valores exercem

uma posição inversamente proporcional, ou seja, à medida que uma variável aumenta a outra tende a decrescer. Observa-se que a enzima β -glicosidase possui correlação negativa com o teor de areia. Segundo Rodrigues *et al.* (2022), isso se deve ao fato de ocorrer uma maior afinidade entre as enzimas e as argilas, por fazerem parte do componente abiótico, sendo complexadas pela argila e matéria orgânica.

Tabela 8 - Correlação linear de Pearson entre os atributos químicos, físicos e biológicos em áreas cultivadas com mangueira, videira e vegetação nativa da Caatinga.

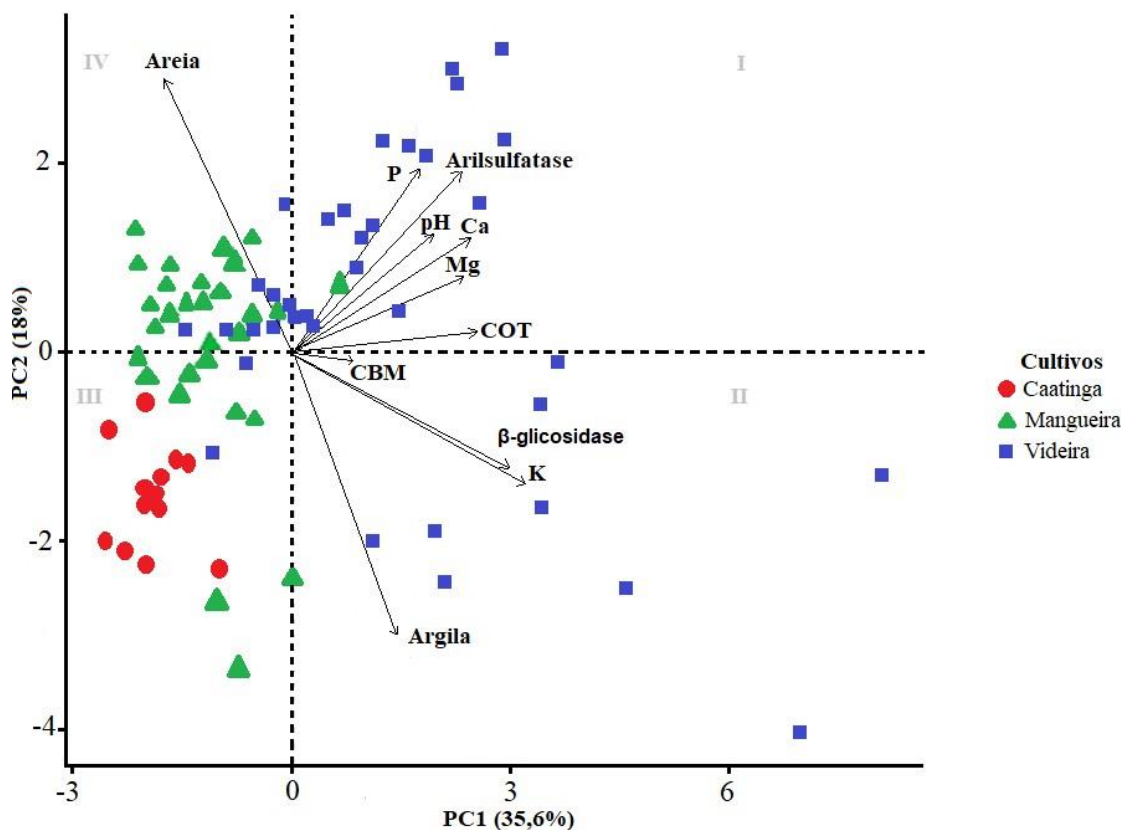
	Areia	Argila	β -gli	AriS	COT	P	K	Ca	Mg	CBM
Argila	-0.83**									
β -gli	-0.40**	0.40**								
AriS	0.07	-0.06	0.31*							
COT	-0.16	0.21	0.40*	0.43**						
P	0.05	-0.09	0.14	0.49**	0.27*					
K	-0.48**	0.45**	0.71**	0.30*	0.40*	0.13				
Ca	-0.17	-0.01	0.27	0.36**	0.27*	0.39*	0.35*			
Mg	-0.21	0.19	0.22	0.44**	0.34*	0.28	0.28	0.59*		
CBM	-0.008	0.09	0.17	0.13	0.06	0.02	0.26	0.06	0.10	
pH	-0.04	-0.01	0.26	0.35*	0.25	0.26	0.24	0.35	0.35	0.13

AriSufatase (AriS), β -glicosidase (β -gli) Carbono Organico Total (COT), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) e potencial hidrogeniônico (pH).
* e ** Significativo a ($p < 0,05$ e $p < 0,01$), respectivamente, pelo teste F.

A relação entre a distribuição das amostras de solo coletadas nas áreas de videiras, mangueiras e vegetação nativa da Caatinga, bem como a classificação quanto aos atributos químicos, físicos e biológicos, foi realizado através de uma ordenação gerada pela análise multivariada de componentes principais (Figura 3).

Os dois primeiros componentes resultantes da PCA dos sistemas de cultivo representaram 53,6% da variação total dos atributos, onde CP1 e CP2 retêm 35,6 e 18%, das informações originais dos dados avaliados (Figura 3).

Figura 3 - Análise de componentes principais (PCA), em áreas cultivadas com mangueira, videira e vegetação nativa da Caatinga, representados pelos indicadores químicos, físicos e biológicos do solo.



Os atributos químicos e biológicos, por sua vez, foram bastante eficazes em discriminar as áreas de videira, exibindo maiores valores de cátions básicos no quadrante I, influenciados pelas práticas agrícolas, como o aporte de nutrientes e fertirrigação, além de que para a cultura da videira, as áreas receberam em média 60 t/ha/ano de esterco (CAVALCANTI *et al.*, 2008). Podendo ter influência direta nos valores de β -glicosidase e Arilsulfatase, pois as mesmas não possuem uma origem discriminada de suas rotas metabólicas, sendo oriundas de microrganismos, plantas e animais, se tornando um dos parâmetros biológicos que representam o componente biológicos como um todo (MENDES *et al.*, 2015; RODRIGUES *et al.*, 2022).

O K foi o cátion básico que obteve correlação mais forte com a enzima β -glicosidase, expressando relações diretas de forma positiva (Figura 3). Resultados semelhantes foram obtidos por Aragão *et al.* (2020), em áreas de alta produtividade de café no Cerrado (cultivar Catuaí Vermelho IAC 144), com teores de K de 0,87 cmolc/dm³, podendo essa relação ser explicada pelas áreas avaliadas estavam sob manejo intensivo, incluindo altos níveis de fertilização (Tabela 2).

Nesses sentindo, pode ter ocorrido a alteração de exsudatos, havendo maior

liberação de açúcares nos exsudatos, podendo a concentração de açúcares no solo estimular algumas populações microbianas. Em contraste, os cultivos nos quadrantes III e IV representam baixa fertilidade e atividade biológica e elevado conteúdo de areia.

7. CONCLUSÕES

As áreas cultivadas apresentaram maiores atividades das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase do que as áreas de vegetação nativa da Caatinga.

Nossos resultados evidenciam que as enzimas β -glicosidase e arilsulfatase, apresentaram níveis superiores aos calibrados sob cultivos anuais no bioma Cerrado.

A enzima β -glucosidase apresentou correlações positivas com o aumento da fração argila.

REFERÊNCIAS

AGROINSIGHT. 2020. Disponível em: <https://agroinsight.com.br/12275-2/#:~:text=A%20%C3%A1rea%20plantada%20com%20videiras,total%20do%20Brasil%20em%202020>. Acesso em: agosto de 2022.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA. Santa Cruz: **Editora Gazeta**, 2018. Disponível em: <http://www.editoragazeta.com.br/flip/anuario-fruticultura-2018/files/assets/basic-html/index.html#2>. Acesso em: agosto de 2022.

ARAGÃO, O. O. S.; OLIVEIRA-LONGATTI, S. M.; CAPUTO, P. S. C.; RUFINI, M.; CARVALHO, G. R.; CARVALHO, T. S.; MOREIRA, F. M. S. Microbiological indicators of soil quality are related to greater coffee yield in the Brazilian Cerrado region. **Ecological Indicators**, v. 113, p. 106205, 2020.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, 2007.

AYANGBENRO, A. S.; BABALOLA, O. O. Reclamation of arid and semi-arid soils: The role of plant growth-promoting archaea and bacteria. **Current Plant Biology**, v.10, n. 2, p. 100-173, 2020.

BALOTA, E. L.; CALEGARI, A.; NAKATANI, A. S.; COYNE, M. S. Benefits of winter cover crops and no-tillage for microbial parameters in a Brazilian Oxisol: A long-term study. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 197, p. 31-40, 2014.

BARBOSA, E. Fruticultura alavanca empregos no Vale do São Francisco. **Folha de Pernambuco**. 2019. Disponível em: <https://www.folhape.com.br/economia/fruticultura-alavanca-empregos-no-valedo-sao-francisco/123315/>. Acesso em: agosto de 2022.

BERILLI, S. S.; VALADARES, F. V.; SALES, R. A.; ULISSES, A. F.; PEREIRA, R. M.; DUTRA, G. J. A.; ALMEIDA, R. N. Use of Tannery Sludge and Urban Compost as a Substrate for Sweet Pepper Seedlings. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 34, n. 4, p. 1-9, 2019.

BORDONAL, R. O.; LAL, R.; RONQUIM, C. C.; FIGUEIREDO, E. B. F.; CARVALHO, J. L. N.; MALDONADO JÚNIOR, W.; MILORI, D. M. B. P.; LA SCALA JÚNIOR, N. Changes in quantity and quality of soil carbon due to the land-use conversion to sugarcane (*Saccharum officinarum*) plantation in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.240, n.1, p.54-65, 2017.

BUENO, P. A. A.; OLIVEIRA, V. M. T.; GUALDI, B. L.; SILVEIRA, P. H. N.; PEREIRA, R. G.; FREITAS, C. E. S.; BUENO, R. O.; SEKINE, E. S.; SCHWARCZ, K. D. Indicadores microbiológicos de qualidade do solo em recuperação de um sistema agroflorestal. **Acta Brasiliensis**, v. 2, n. 2, p. 40-44, 2018.

BÜNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; DE DEYN, G.; DE GOEDE, R.; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T. W.; MÄDER, P.; PULLEMAN, M.; SUKKE, W.; VAN GROENIGEN, J. W.; BRUSSAARD, L. Soil quality—A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, p. 105-125, 2018.

CAVALCANTE, W. F.; SILVA, L. R. C. D.; SILVA, E. G. D.; OLIVEIRA, J. T. C.; MOREIRA, K. A. Enzymatic activity of Caatinga biome with and without anthropic action1. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 142-150, 2020.

CAVALCANTI, F. D. A.; SANTOS, J. C. P.; PEREIRA, J. R.; LEITE, J. P.; SILVA, M. C. L.; FREIRE, F. J.; LIMA, J. F. V. F. **Recomendação de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. Pernambuco, 2008. 94 p.

CHAER, G. M. **Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos**. 2001. 100p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

COMEXSTAT. Sistema de Estatísticas do Comércio Exterior, 2021. **Exportação e importação geral**. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>. Acesso em: agosto de 2022.

CUNHA, T. J. F.; GIONGO, V.; SALVIANO, A.M.; MARQUES, F.A.; CANELLAS, L.P. Humified fraction of organic matter due to plant mixture cultivation. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 3, p. 578-586, 2016.

CUNHA, T.; OLIVEIRA NETO, M. B.; GIONGO, V.; SA, I.; TAURA, T.; ARAUJO FILHO, J. C.; LUCENA, A. M. A. **Solos da margem esquerda do rio São Francisco: município de Petrolina, Estado de Pernambuco**. Embrapa Semiárido, 2010. 175p.

DICK, D. P.; NOVOTNY, E. H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e mineralogia do solo**. 2.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.1-67, 2016.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Soil Science Society of America, p.107-124, 1994.

DORTZBACH, D.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; SANTOS, O. A. Q. Compartimentos da matéria orgânica do solo em vinhedos altomontanos de Santa Catarina. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 10677-10691, 2020.

ELLIOT, E. T.; BURKE, I. C.; MONZ, C. A.; FREY, S. D.; PAUSTIAN, K. H.; COLLINS, H. P.; PAUL, E. A.; COLE, C. V.; BLEVINS, R. L.; FRYE, W. W.; LYON, D. J.; HALVORSON, A. D.; HUGGINS, D. R.; TURCO, R. F.; HICKMAN, M. V. Terrestrial carbon pools in grasslands and agricultural soils: Preliminary data from the Corn Belt and Great Plains regions. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, p. 179-191. (Special Publication number, 35), 1994.

FREITAS, M. S. C.; ARAÚJO, C. A. S.; SILVA, D. J. Decomposição e liberação de nutrientes de esterco em função da profundidade e do tempo de incorporação. **R. Semiárido De Visu**, v. 2, p. 150-161, 2012.

GALLO, A. S.; ARAUJO, T. S.; ARAUJO, F.S.; SANTOS, L. C.; GUIMARÃES, N. F.; SILVA, R. F. Biomassa e atividade microbiana em solo cultivado com milho consorciado com leguminosas de cobertura. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 347-357, 2019.

GIL-SOTRES, F.; TRASAR-CEPEDA, C. LEIROS, M. C.; SEOANE, S. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 37, p. 877–887, 2005.

GUIMARÃES, N. F.; GALLO, A. S.; FONTANELLI, A.; MENEGHIN, S. P.; SOUZA, M. D. B.; MORINIGO, K. P. G.; SILVA, R. F. Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, V.40, n., p. 34-44, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Pesquisa Produção Agrícola Municipal. In: **Sidra**: sistema IBGE de Recuperação Automática. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: agosto de 2022.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil: A method for measuring biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 8, p. 209-213, 1976.

KERTESZ, M. A. & MIRLEAU, P. The role of soil microbes in plant sulphur nutrition. **Journal of experimental botany**, v. 55, n. 404, p. 1939-1945, 2004.

LIMA, M. A. C.; SA, I. B.; KIILL, L. H. P.; ARAUJO, J. L. P.; BORGES, R. M. E.; LIMA NETO, F. P.; SOARES, J. M.; LEO, P. C. S.; SILVA, P. C. G.; CORREIA, R. C.; SILVA, A. S.; SÁ, I. I. S.; SILVA, D. F. **Subsídios técnicos para a indicação**

geográfica de procedência do Vale do Submédio São Francisco: uva de mesa e manga. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2009. p. 1–56).

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O. D.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 36, n. 1, p. 33-44, 2012.

LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B.; GOEDERT, W. J.; MENDES, I. C. Interpretation of Microbial Soil Indicators as a Function of Crop Yield and Organic Carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v.77, p.461 - 472, 2013.

LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; DOS REIS, F. B.; FIGUEIREDO, C. C.; MALAQUIAS, J. V.; SOUZA, L. M.; MENDES, I. de C. Temporal variation and critical limits of microbial indicators in oxisols in the Cerrado, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 12, p. 72-82, 2018.

MARZAIOLI, R.; D'ASCOLI, R.; DE PASCALE, R. A.; RUTIGLIANO, F. A.; Soil quality in a Mediterranean area of Southern Italy as related to different land use type. **Applied Soil Ecology**, 44:205 - 212, 2010.

MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; HUNGRIA, M.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G. M.; MERCANTE, F. M.; ZILLI, J. É. Microbiologia do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: FALEIRO, F. G.; ANDRADE, S. R. M.; REIS JUNIOR, F. B. DOS (Ed.). **Biotecnologia: estado da arte e aplicações na agropecuária**. 1. ed. [s.l.] Embrapa Cerrados, 2011. p. 218–242.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; DANTAS, O. D.; LOPES, A. A. C.; REIS JUNIOR, F. B.; OLIVEIRA, M. I.; CHAER, G. M. Soil quality and grain yield: A win–win combination in clayey tropical Oxisols. **Geoderma**, v. 388, p. 114880, 2021.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.32, p.191, 2015.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; LOPES, A. A. C.; SOUZA, L. M. Bioanálise de solo: Aspectos teóricos e práticos. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. X, p. 399-462, 2019.

MORAES, M. D. C. H. D. S.; MEDEIROS, E. V. D.; ANDRADE, D. D. S. D.; LIMA, L. D. D.; SANTOS, I. C. D. S.; MARTINS FILHO, A. P. Microbial biomass and enzymatic activities in sandy soil cultivated with lettuce inoculated with plant growth promoters. **Revista Caatinga**, v. 31, p. 860-870, 2018.

NANZER, M. C.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, G. F.; BARRETA, P. G. V.; DE OLIVEIRA, T. P., DA SILVA, J. R. M.; PAULINO, L. A. Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 136-145, 2019.

PEIXOTO, R. S.; CHAER, G. M.; FRANCO, N.; REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C.;

ROSADO, A. S. A decade of land use contributes to changes in the chemistry, biochemistry and bacterial Community structures of soils in the Cerrado. **Antonievan Leeuwenhoek**, v. 98, p. 403-413, 2010.

PORTUGAL, A. F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C. E. G.; WENDLING, B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 2091-2100, 2008.

PRIMIERY, S.; MUNIZ, A. W.; LISBOA, H. D. M. Dinâmica do carbono no solo em ecossistemas nativos e plantações florestais em Santa Catarina. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: agosto de 2022.

RODRIGUES, R. N.; REIS JUNIOR, F. B. D.; LOPES, A. A. D. C.; ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F.; VEIGA, A. D.; MENDES, I. D. C. Soil enzymatic activity under coffee cultivation with different water regimes associated to liming and intercropped brachiaria. **Ciência Rural**, v. 52, 2021.

ROSA, G. F. D.; CASALI, C. A.; BECHARA, F. C.; VICELI, J. M.; MOREIRA, F. L.; GUIMARÃES, B. S.; FEIX, B. L. Soil Microbiological Attributes Under Ecological Restoration Technologies in Subtropical Forest. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 63, n. SPE, 2020.

SANTOS, C. Estatística descritiva. **Manual de auto-aprendizagem**, Lisboa: Edições Sílabo, 2007. 297 p.

SANTOS, V. M.; MAIA, L. C. Bioindicadores de qualidade do solo. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 10, p. 195-226, 2013.

SHARMA, P.; LAOR, Y.; RAVIV, M.; MEDINA, S.; SAADI, I. Green manure as part of organic management cycle: Effects on changes in organic matter characteristics across the soil profile. **Geoderma**, v. 305, p. 197-207, 2017.

SIQUEIRA, K. M. M. D.; KIILL, L. H. P.; MARTINS, C. F.; LEMOS, I. B.; MONTEIRO, S. P.; FEITOZA, E. D. A. Estudo comparativo da polinização de *Mangifera indica* L. em cultivo convencional e orgânico na região do Vale do Submédio do São Francisco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, p. 303-310, 2008.

SOBRAL, L. F.; BARRETO, M. D. V.; SILVA, A. J.; DOS ANJOS, J. L. **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solo**. Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 13 p.

SOUSA, R. F. D.; BRASIL, E. P. F.; FIGUEIREDO, C. C. D.; LEANDRO, W. M. Soil organic matter fractions in preserved and disturbed wetlands of the Cerrado biome. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 222-231, 2015.

SOUZA, A. C. F. **Ensaio sobre o mercado da manga produzida no Vale do Submédio São Francisco**. 2021. 88p. Dissertação (Mestrado em Economia). Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru.

SOUZA, M. A.; SIMÕES, W. L.; MESQUITA, A. C.; MOUCO, M. A. C.; CAVALCANTE, B. L. S.; GUIMARÃES, M. J. M. Manejo da quimigação para indução floral da mangueira 'Palmer' no submédio do Vale do São Francisco. **Irriga**, v. 23, n. 3, p. 442-453, 2018.

TABATABAI, M. A. Soil Enzymes. In: WEAVER, R. W.; SCOTT, A.; BOTTOMELEY, P. J. **Methods of Soil Analysis: Microbiological and Biochemical Properties**. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p. 775– 833.

TAVARES FILHO, G. S.; DE OLIVEIRA, F. F., MASCARENHAS, N. M. H.; ARAÚJO, C. A. S.; MATIAS, S. S. R., GREGÓRIO, M. G.; DE OLIVEIRA, A. G. Qualidade do solo em áreas nativas e cultivadas na Chapada do Araripe no semiárido do nordeste brasileiro. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. e8809108975-e8809108975, 2020.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 573 p.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p.703-707, 1987.

VILELA, E. F.; MENDONÇA, E. S. Impacto de sistemas agroflorestais sobre a matéria orgânica do solo: Modelagem de carbono e nitrogênio. **Coffee Science**, v. 8, n.3, p.354-363, 2013.

ZHANG, G.; BAI, J.; XI, M.; ZHAO, Q.; LU, Q.; JIA, J. Soil quality assessment of coastal wetlands in the Yellow River Delta of China based on the minimum data set. **Ecological Indicators**, v. 66, p. 458-466, 2016.

ZORNOZA, R.; ACOSTA, J. A.; BASTIDA, F.; DOMÍNGUEZ, S. G.; TOLEDO, D. M.; FAZ, A. Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. **Soil**, v.1, p.173 – 185, 2015.