

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

CRISTIANE MARIA GONÇALVES CRESPO

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO E
ATIVIDADE MICROBIANA EM SISTEMA AGROECOLÓGICO
COM PRODUÇÃO DE CAFÉ EM BREJO DE ALTITUDE**

Recife
2020

Cristiane Maria Gonçalves Crespo

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO E ATIVIDADE MICROBIANA EM SISTEMA AGROECOLÓGICO COM PRODUÇÃO DE CAFÉ EM BREJO DE ALTITUDE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia Ambiental, Área de Concentração: Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente.

Orientador

Prof. Dr. Victor Casimiro Piscoya

Co-orientador

Prof. Dr. Renisson Neponuceno de Araújo Filho

Recife – PE
Janeiro, 2020.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C94cmgca Crespo, Cristiane Maria Gonçalves
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO E ATIVIDADE MICROBIANA EM SISTEMA AGROECOLÓGICO
COM PRODUÇÃO DE CAFÉ EM BREJO DE ALTITUDE / Cristiane Maria Gonçalves Crespo. - 2020.
121 f. : il.

Orientador: Victor Casimiro Piscoya.
Coorientador: Renisson Neponuceno de Araujo Filho.
Inclui referências e apêndice(s).

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, 2020.

1. sistemas agroflorestais. 2. café orgânico. 3. brejo de altitude. 4. sustentabilidade. 5. agricultura familiar. I. Piscoya, Victor Casimiro, orient. II. Filho, Renisson Neponuceno de Araujo, coorient. III. Título

CDD 620.8

CRISTIANE MARIA GONÇALVES CRESPO

Avaliação da Qualidade do Solo e Atividade Microbiana em Sistema Agroecológico com Produção de Café em Brejo de Altitude

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia Ambiental, Área de Concentração: Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente.

Aprovado em 31 de Janeiro de 2020.

Prof. Dr. Victor Casimiro Piscoya
Orientador
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Moacyr Cunha Filho

Professora Dra. Rosângela Tavares

Recife – PE

Janeiro, 2020

*Dedico este trabalho à Fernanda Gonçalves da
Luz Crespo, Minha Mãe e a Enes Paulo Crespo,
Meu Pai, in memoriam.*

AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial ao CNPq e CAPES pela bolsa de estudos, ao meu Orientador Victor Casimiro Piscocoy, que acreditou em mim e me proporcionou este aprendizado, ao meu coorientador Renisson Neponuceno, aos Proprietários da Yaguara Ecológico (Tatiana e Juscelino) e seus trabalhadores rurais, aos Professores Fernando Cartaxo, Manoel Vieira e Alex Moraes, ao Meu Amigo Gabriel Pessoa (Cabeça), à minha Amiga Thaís Patu, ao Robson Pereira de Melo, à Patrícia Bezerra (Patão), Aos meus sobrinhos Arthur Crespo e Brenda Evelyn, à Eudes, Nana, Seu Eduardo, Simone, Oscar Piscocoy, ao Prof. Felipe, às Professoras Carol e Gisele, ao Professor Moacyr Cunha Filho e Sergio Monthezuma Santoianni Guerra. À Minha Amiga Rosângela Tavares (Rosinha), aos meus Familiares e Amigos, à Celiane de Moraes (Cely).

RESUMO

Tendo em vista que a agricultura sustentável permite explorar a cultura do café consorciada com florestas nativas em relevos mais acidentados, principalmente pelas condições climáticas que favorecem o desenvolvimento das culturas, e através das técnicas de manejo adequadas, que garantem a produção, a conservação do solo e a biodiversidade. Pesquisa-se, sobre a qualidade do solo e atividade microbiana em sistema agroecológico com produção de café, em brejo de altitude, a fim de avaliar se a qualidade do solo oferece condições nutricionais para o sistema orgânico de café sombreado. Para tanto, é necessário conhecer a área de experimento a fim de realizar o levantamento hipsométrico, medir suas declividades, definir as subáreas, classificar e coletar amostras representativas de solo, a fim de analisar a composição física, química e biológica da área objeto de estudo. Realiza-se, então, uma pesquisa descritiva utilizando sistema livre de processamento de informações georreferenciadas, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, a fim de reconhecer e delimitar as declividades, estabelecer as repetições em campo, abrir nas quatro subáreas, topo, encosta, pedimento e mata nativa, trincheiras de 1,50m x 1,0m x 0,80m, com 50m de espaçamento, que representam os 25 hectares da área estudada. O solo foi classificado, segundo o sistema brasileiro de classificação, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, nas profundidades de 0–20cm, 20–40cm e 40–60cm, para análises quantitativas dos atributos do solo no sistema de café sombreado, no brejo de Taquaritinga, obedecendo protocolo de coleta e análise da EMBRAPA 2017. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, as medias testadas a 5% pelo teste de Tukey. Diante disso, verifica-se que a área em estudo possui 760m a 860m de altitude, com médias anuais de temperatura de 21 °C e precipitações pluviométricas de 721mm, o que mantém a baixa temperatura do solo e do ar que favorecem todo o sistema. O argissolo vermelho amarelo eutrófico típico, com classificação do solo obtida pela avaliação qualitativa e ratificada em campo, ainda indica uma textura média/argilosa, e que variam de profundos a muito profundos e são bem estruturados e drenados. Todos os atributos analisados foram comparados com a mata nativa preservada e legalmente protegida do Brejo de Taquaritinga, o que se consta o potencial do sistema, que embora tenha sua fertilidade natural baixa, a muito baixa, com reação fortemente ácida, esses solos necessitam de técnicas adequadas de manejo e correção do solo para que a cultura absorva todos os nutrientes disponibilizados pela matéria orgânica presente no horizonte superficial, principalmente em solos de textura arenosa.

Palavras-chaves: sistemas agroflorestais, café orgânico, café sombreado, brejo de altitude, sustentabilidade, economia rural, agricultura familiar.

ABSTRACT

Bearing in mind that sustainable agriculture makes it possible to explore the coffee culture combined with native forests in more rugged reliefs, mainly due to climatic conditions that favor the development of crops, and through appropriate management techniques, which guarantee production, soil conservation and biodiversity. Research is done on soil quality and microbial activity in an agroecological system with coffee production, in a swamp of altitude, in order to know the physical, chemical and biological attributes of the soil responsible for nourishing the coffee tree, in a Swamp of Altitude. Therefore, it is necessary to know the experiment area in order to carry out the hypsometric survey, measure its slopes, define the sub-areas, classify and collect representative soil samples, in order to analyze the physical, chemical and biological composition of the area under study. . Then, a descriptive research is carried out using a free system for processing georeferenced information, from the National Institute for Space Research, in order to recognize and delimit slopes, establish repetitions in the field, open in the four sub-areas, top, slope, request and native forest, 1.20m x 1.20m x 1.20m trenches, with 100m spacing, which represent the 25 hectares of the studied area. The soil was classified, according to the Brazilian classification system, deformed and undisturbed samples were collected, at depths of 0–20cm, 20-40cm and 40-60cm, for quantitative analysis of soil attributes in the shaded coffee system, in the Taquaritinga swamp, following the EMBRAPA 2017 collection and analysis protocol. The results obtained were subjected to analysis of variance, the means tested at 5% by the Tukey. Therefore, it appears that the study area has 760 m to 860 m of altitude, with annual temperature averages of 21°C and rainfall of 721 mm, which maintains the low temperature of the soil and air that favor all the system. The typical eutrophic red-yellow argisol, obtained by qualitative and field-ratified assessment of the soil classification, still indicates a medium/clayey texture, which varies from deep to very deep and is well structured and drained. All the analyzed attributes were compared with the preserved and legally protected native forest of the Brejo de Taquaritinga, which shows the potential of the system, that although it has its low, very low natural fertility, with strong acid reaction, these soils need techniques adequate soil management and correction so that the crop absorbs all the nutrients made available by the organic matter present in the surface horizon, mainly in sandy texture soils.

Keywords: agroforestry systems, organic coffee, shaded coffee, marsh of altitude, sustainability, rural economy, family farming.

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1. Representação esquemática de curvas características de retenção de água no solo (CCRAS) para diferentes tipos de solo (Vanapalli, 1994)	40
Figura 2. Disponibilidade de nutrientes e alumínio em função do pH do solo. Malavolta, 1979.	42
Figura 3. Mapa de localização da área de estudo, fazenda Yaguara ecológico no município de Taquaritinga do Norte - PE.....	51
Figura 4. Temperatura Mínima e Máxima em Taquaritinga do Norte nos últimos trinta anos	52
Figura 5. Precipitação Pluviométrica (mm) nos últimos trinta anos	52
Figura 6. Mapa hipsométrico da área Conceição em Taquaritinga do Norte - PE.....	53
Figura 7. Mapa da declividade da área Conceição em Taquaritinga do Norte - PE.....	54
Figura 8. Gráfico Porosidade Total cm^3/cm^3	64
Figura 9. Gráfico da Macroporosidade nas profundidades estudadas	65
Figura 10. Gráfico da Mesoporosidade nas profundidades estudadas	65
Figura 11. Gráfico do MiEB nas profundidades estudadas	66
Figura 12. Gráfico do MiT nas profundidades estudadas.....	66
Figura 13. Gráfico do Criptoporos nas profundidades estudadas.....	67
Figura 14. Curva Característica de Retenção de Água no Solo (CCRAS) em Sistema Agroflorestal Orgânico de Café Sombreado (SAOCS).....	67
Figura 15. CCRA em SMNPBA	68
Figura 16. Comparativo das CCRAS – SAOCS e SMNPBA, na profundidade de 0-20 cm ..	68
Figura 17. Comparativo das CCRAS – SAOCS e SMNPBA, na profundidade de 20-40 cm	68
Figura 18. Comparativo das CCRAS – SAOCS e SMNPBA, na profundidade de 40-60 cm	69
Figura 19. Acidez Ativa (pH).....	72
Figura 20. Acidez Trocável (Al^{3+}).....	72

Figura 21. Acidez Potencial ($H^+ + Al^{3+}$)	72
Figura 22. Soma de Bases (SB)	72
Figura 23. Saturação por Al^{3+} (m%)	74
Figura 24. Saturação por bases da CTC pH 7 (V%).....	74
Figura 25. CTC Total	74
Figura 26. CTC efetiva	74
Figura 27. Gráfico do N	76
Figura 28. Gráfico do P	76
Figura 29. Gráfico do K	76
Figura 30. Gráfico do Ca.....	76
Figura 31. Gráfico do Mg.....	76
Figura 32. Gráfico da Na.....	77
Figura 33. Gráfico do B.....	78
Figura 34. Gráfico do Cu.....	79
Figura 35. Gráfico do Fe	80
Figura 36. Gráfico do Mn.....	80
Figura 37. Gráfico do Zn.....	81
Figura 38. Respirometria.....	83
Figura 39. Carbono da biomassa microbiana	83
Figura 40. Quociente metabólico do solo.....	83
Figura 41. Quociente microbiano	83
Figura 42. Gráfico do C.....	86
Figura 43. Gráfico do N	86
Figura 44. Relação C/N	87
Figura 45. Gráfico de Estoque de Carbono	88

Figura 46. Estoque de Carbono – Ácido Fúlvico	89
Figura 47. Estoque de Carbono Ácido Húmico.....	89
Figura 48. Estoque de Carbono - Humina.....	91
Figura 49. Estoque de Carbono Lábil.....	92
Figura 50. Carbono Lábil	93
Figura 51. Carbono MOL.....	94
Figura 52. Carbono Ácido Fúlvico.....	95
Figura 53. Carbono Ácido Húmico	96
Figura 54. Carbono Humina.....	96

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Classificação da Declividade	27
Tabela 2. Interpretação da Fertilidade do Solo em Plantação de Café, com relação ao seu Carbono orgânico (CO) e sua Matéria Orgânica (MO).....	35
Tabela 3. Variação de Densidade de Partículas encontradas para diferentes tipos de solos, considerando horizonte A e B.	37
Tabela 4. Características de Diferentes Classes de Poros.....	39
Tabela 5. Classificação da acidez ativa do solo (pH em CaCl ₂).....	41
Tabela 6. Classes de interpretação de fertilidade do solo para acidez trocável (Al ³⁺) e o potencial (H ⁺ + Al ³⁺)	41
Tabela 7. Classes de interpretação de fertilidade do solo para Soma de Bases (SB), CTC efetiva e CTC Total	43
Tabela 8. Classes de interpretação de fertilidade do solo para saturação por Alumínio (m% e Saturação por Bases (V%)).....	43
Tabela 9. Classes de interpretação de fertilidade do solo de Carbono Orgânico (CO)	43
Tabela 10. Classes de interpretação para P disponível em função cultura do café e do P remanescente (P-rem)	44
Tabela 11. Classes de interpretação para potássio disponível (K-disponível) para cultura perene	45
Tabela 12. Macronutrientes Secundários classes de interpretação em função da disponibilidade no solo e suas limitações e peculiaridades.....	45
Tabela 13. Micronutrientes classes de interpretação em função da disponibilidade no solo e suas limitações e peculiaridades	46
Tabela 14. Média dos atributos físicos – granulometria e densidade do solo	62
Tabela 15. Distribuição da Porosidade Total nas profundidades	63
Tabela 16. Distribuição dos Macroporos nas profundidades estudadas	64
Tabela 17. Distribuição dos Mesoporos nas profundidades estudadas.....	65
Tabela 18. Distribuição de MiEB e MiT nas profundidades estudadas	66

Tabela 19. Distribuição de Criptoporos em função da sua posição no relevo e profundidade	67
Tabela 20. Análise Estatística nas profundidades, Topo, Encosta, Pedimento e Mata Nativa, relacionado à sua acidez ativa, trocável, potencial e a soma de bases	72
Tabela 21. Análise Estatística nas profundidades, T, E, P e MN relacionado Saturação por Bases (m%) e Saturação por Alumínio (V%), CTC potencial e CTC efetiva.....	74
Tabela 22. Nutrientes.....	76
Tabela 23. Boro e a classe de interpretação do micronutriente disponível no solo, segundo Prezotti et al. (2007)	78
Tabela 24. Cobre e a classe de interpretação do micronutriente disponível no solo, segundo Prezotti et al. (2007)	79
Tabela 25. Ferro e a classe de interpretação do micronutriente disponível no solo, segundo Prezotti et al. (2007)	79
Tabela 26. Manganês e a classe de interpretação do micronutriente disponível no solo, segundo Prezotti et al. (2007)	80
Tabela 27. Zinco e a classe de interpretação de micronutrientes disponível no solo, segundo Prezotti et al. (2007)	81
Tabela 29. Qualidade Microbiológica	82
Tabela 30. Resultados do Carbono e Nitrogênio	86
Tabela 31. Relação entre Carbono e Nitrogênio.....	87
Tabela 32. Estoque de Carbono	87
Tabela 33. Resultados Estoque de Carbono Fracionamento – Ácido Fúlvico	88
Tabela 34. Resultados Estoque de Carbono Fracionamento – Ácido Húmico.....	89
Tabela 35. Resultados Estoque de Carbono Fracionamento - Humina	91
Tabela 36. Teores Estoque de Carbono Lábil de (CL) em Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico em SAOCS e SMNPBA.....	92
Tabela 37. Carbono Lábil (CL) em Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico em SAOCS e SMNPBA.....	93
Tabela 38. Médias dos teores de matéria orgânica leme (MOL), em Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico sob SAOCS e SMNPBA	93

Tabela 39. Carbono Ácido Fúlvico em Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico em SAOCS e SMNPBA.....95

Tabela 40. Carbono Ácido Húmico em Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico em SAOCS e SMNPBA.....95

Tabela 41. Carbono Humina em Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico em SAOCS e SMNPBA.....96

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

AAO	Associação de Agricultura Orgânica
APP	rea de preservação permanente
Arg. Verm. Am.	Argissolo vermelho amarelo
AUR	áreas de uso restrito
CPAL	Conjunto cilindro-amostra-pano-liga
CPAL _{saturado}	Conjunto cilindro-amostra-pano-liga saturado
CPAL _{seco à 105°C}	Conjunto cilindro-amostra-pano-liga seco em estufa à 105°C
CBM	Carbono da biomassa microbiana
C-BMS.	Carbono da biomassa microbiana do solo
cca	Centímetro de coluna de gua
CCRAS	Curva característica de retenção de água no solo
CL	Carbono livre
CO	Carbono orgânico
COT	Carbono orgânico total
Cripto	Criptoporos
CTC	Capacidade de troca de cátions
E	Encosta
D _s	Densidade do solo
D _p	Densidade de partículas

EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
kPa	Quilo Pascal
MN	Mata nativa
MOS	Matéria orgânica do solo
Ma	Macroporos
Me	Mesoporos
Mi	Microporos
MO	Matéria orgânica
MOS	Matéria orgânica no solo
P	Pedimento
QBS	Qualidade biológica do solo
qCO ₂	Quociente metabólico do solo
QFS	Qualidade física do solo
qMic	Quociente microbiano do solo
QQS	Qualidade química do solo
RL	Reserva legal
SAF	Sistema Agroflorestal
SAF's	Sistemas agroflorestais
SAOCS	Sistema agroflorestal orgânico de café sombreado

SB	Soma de bases
SMNPBA	Sistema de mata nativa preservada do brejo de altitude.
T	Topo
TFSA	Terra fina seca ao ar
TFSE	Terra fina seca em estufa
UAS	Uso alternativo do solo

LISTA DE SIMBOLOS

\emptyset	Diâmetro do poro
ψ	Potencial matricial

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	22
2. OBJETIVOS.....	23
2.1. OBJETIVO GERAL	23
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
3. REVISÃO DE LITERATURA	24
3.1. TAQUARITINGA DO NORTE	24
3.2. O BREJO DE ALTITUDE	24
3.3. SOLO E RELEVO EM BREJO DE TAQUARITINGA	25
3.4. PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS EM ÁREAS COM DECLIVIDADE.....	27
3.5. SISTEMA AGROFLORESTAL, SISTEMA ORGÂNICO E BIODIVERSIDADE EM PLANTACÕES DE CAFÉ SOMBREADO	29
3.5.1. Influência dos níveis de sombra na produção do café bienalidade em sistema agroflorestal.....	32
3.6. QUALIDADE DO SOLO.....	34
3.6.1. Matéria Orgânica, Carbono e Atividade Microbiana em Solos.....	34
3.6.2. Qualidade Física do Solo (QFS)	35
3.6.2.1. Textura do Solo	36
3.6.2.2. Densidade do Solo e Densidade de Partícula.....	36
3.6.2.3. Porosidade	37

3.6.3. Qualidade Química do Solo (QQS)	40
3.6.3.1. Acidez.....	40
3.6.3.2. Complexo sortido do solo e saturação por alumínio m%.....	42
3.6.3.3. Macronutrientes e Micronutrientes	44
3.6.4. Qualidade Biológica do Solo (QBS)	47
3.6.4.1. Biomassa microbiana	47
3.6.4.2. Carbono orgânico do solo	48
3.7. IMPORTÂNCIA DA FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTAÇÕES AGROECOLÓGICAS	50
4. MATERIAL E MÉTODOS	51
4.1. ÁREA DE ESTUDO	51
4.2. PARÂMETROS FÍSICOS HÍDRICOS DO LOCAL DO EXPERIMENTO	52
4.3. DESCRIÇÃO HIPSOMÉTRICA DA ÁREA CONCEIÇÃO	52
4.4. DESCRIÇÃO DA DECLIVIDADE DA ÁREA	53
4.5. ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO	54
4.6. COLETA DE AMOSTRAS DO SOLO	54
4.6.1. Preparo das Amostras de Solo para Análises Físicas, Químicas e Biológicas em Laboratórios	55
4.7. ANÁLISES FÍSICAS	56
4.8. ANÁLISES QUÍMICAS	59
4.9. ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS	60

4.10. ANALISES ESTATÍSTICA	62
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
5.1. ATRIBUTOS FÍSICOS.....	62
5.2. ATRIBUTOS QUÍMICOS.....	69
5.2.1. Nutrientes	75
6. CONCLUSÃO	97
7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS	98

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a maioria dos produtores prefere o cultivo a pleno sol, por julgarem que o sombreamento diminui a produtividade por necessitar de mais mão-de-obra e dificultar a mecanização (Ricci et al., 2002). Atualmente, só duas espécies do gênero *coffea* têm importância econômica: o arábica, que responde por cerca de 70% da produção mundial e o canephora ou robusta, com 30% da produção mundial. Ambas são culturas arbóreas, que começam a produzir três ou quatro anos após o plantio e têm uma vida econômica de vinte a trinta anos (Souza et al., 2004).

Embora a cafeicultura no Brasil, historicamente tenha desenvolvido o país e o tornado o maior produtor de café do mundo, essa projeção econômica custou muito em impactos socioambientais a partir do cultivo convencional (Lopes et al., 2012), que sofre com as adversidades climáticas, com a ausência de práticas conservacionistas para o sistema, que empobrecem o solo e aumentam os problemas fitossanitários através da desnutrição dos cafeeiros, implicando em perdas econômicas e socioambientais (Lopes, 2009).

Aproximadamente 70% da produção mundial de café vêm de pequenos agricultores (Jezeer et al., 2018). No Brasil, a maior parte da produção de café orgânico é composta por monocultura não sombreada, além disso, o cultivo convencional sofreu com a crise internacional do preço do grão, nos anos 90, o que impulsionou estratégias de recuperação econômica, incentivando o cultivo do café sombreado na América Latina.

Esta expansão tinha o objetivo de reduzir a produção e os custos do monocultivo, no entanto, considerando um maior valor agregado aos serviços ambientais, com o aumento na biodiversidade, o melhoramento das condições socioeconômicas dos agricultores e ganhos na comercialização de cafés especiais (Lyngbaek et al., 2001). A cafeicultura orgânica, portanto, promovia a interação entre o sombreamento das árvores e dos nutrientes produzidos pela ciclagem da matéria orgânica, beneficiando a qualidade do grão e na relação entre o manejo e a produtividade (Jezeer et al., 2018).

Da mesma forma Hergoualc'h et al. (2018) indicaram que a prática de sombreamento em plantações de café moderava o microclima, fornecia nitrogênio e matéria orgânica ao sistema, baseado em benefícios fisiológicos. Beer et al., (1998) afirmaram que o sombreamento

no cafeeiro reduzia o estresse e melhorava o microclima e o solo, equilibrando o sistema solo/planta pelo uso da matéria orgânica.

Para Ricci et al., 2011 cultivar café em consórcio com árvores restauravam as condições do solo, reduzindo sua compactação e aumentando a vida útil do cultivo. As árvores protegiam contra os ventos, e a chuva mitigava a ocorrência de pragas e o aumento da ciclagem de nutrientes. O manejo conservador promovia a biodiversidade desse sistema, produzindo espécies mais resistentes às pragas e doenças. Desta maneira, pesquisas objetivando quantificar os teores de carbono, atividade microbiana e os nutrientes em sistema agroecológico são bem necessários, para um manejo adequado e um bom desenvolvimento das culturas agrícolas utilizadas neste sistema.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade do solo em sistema agroecológico de café sombreado em Brejo de Altitude.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os atributos físicos, químicos e biológicos de solos sob sistema agroecológico em plantação de café sombreado e mata nativa.
- Quantificar as diferentes formas do fracionamento do carbono orgânico, atributos físicos, químicos e biológicos dos solos, definindo os de maior relevância para a avaliação da qualidade dos solos.
- Avaliar a dinâmica do carbono por meio de análise, na classe de solo em sistema agroflorestal orgânico de café sombreado e vegetação nativa.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Busca-se nesta revisão contextualizar o objeto de estudo, apresentando as características específicas da qualidade do solo em brejo de altitude, no agreste pernambucano, em uma plantação agroecológica de café.

3.1. TAQUARITINGA DO NORTE

Segundo o IBGE, 2019 a cidade de Taquaritinga do Norte dista linearmente 92 km, aproximadamente da capital pernambucana, sua sede municipal está situada numa área de altitude elevada e relevo acentuado sobre a Serra da Taquara, o maciço mais expressivo do território municipal, que se caracteriza pela predominância do clima semiárido quente e da vegetação Caatinga Hiperxerófila, intercalada por serras residuais, áreas de maior altitude, com temperaturas inferiores e umidade superior à média municipal, onde são encontradas densas matas, denominadas floresta subcaducifólia.

Por isso, avaliou-se a qualidade do solo, em brejo de altitude, na área estudada, pertencente ao município de Taquaritinga do Norte, integrante da região do Agreste, que é uma área de transição entre a Zona da Mata e o Sertão Nordestino, sabe-se que o Brejo de Taquaritinga apresenta resquícios de Mata Atlântica e formações vegetais características da caatinga (Velloso, 2002 e Milet-Pinheiro; P; Schlindwein, C. 2008), com peculiaridades que definem os brejos de altitude ou matas serranas como frações da floresta tropical perenifólia, dentro da zona da caatinga.

Desse modo, apesar da vegetação no agreste ser mais densa que a do sertão, com o solo geralmente mais profundo e a pluviosidade mais regular e elevada. A maior densidade demográfica favorece a devastação dessas reservas arbóreas, com vastas áreas existentes atualmente, sem uma única árvore. Apenas algumas serras e brejos conservam um pouco da antiga cobertura, bem destacado por Andrade-Lima, (1960).

3.2. O BREJO DE ALTITUDE

Inicialmente, situamos o Brejo de Taquaritinga do Norte que abrange o próprio município de Taquaritinga do Norte e se estende até pequenas áreas dos municípios de Vertente e Toritama, totalizando 59 km². Trata-se de um conjunto de elevações com relevo suave

ondulado a o forte ondulado, com declives, às vezes, acentuados, apresentando altitudes compreendidas entre 700 m a 1.200 m (IBGE, 2011).

Primordialmente consideraram que as áreas montanhosas características do Brejo de Altitude devem ser protegidos como ecossistemas, de ambientes únicos prioritárias para as unidades de conservação, especialmente com proteção integral, pois, encontram-se de forma fragmentada e em propriedades privadas, e formam pequenas ilhas de florestas sobre maciços isolados (Andrade-Lima, 1960, 1982 e Rodal et al., 2005).

O Brejo de Altitude é um maciço isolado inseridos na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, suas altitudes variam de 450 e 500 metros, nas áreas baixas (pediplano), e de 650 e um pouco mais de 1000 metros nas áreas de serra. Estas zonas de exceção no Agreste são favorecidas pelas condições climáticas mais amenas que aquelas encontradas nas caatingas circundantes, seu relevo forma uma barreira aos ventos úmidos, e apresentam taxas pluviométricas e higrométricas mais elevadas, que nas demais áreas do bioma que está inserido (Caldas Lins, 1989).

3.3. SOLO E RELEVO EM BREJO DE TAQUARITINGA

Dessa forma sua cobertura pedológica possui percentual maior em áreas com solos mais profundos, muito embora o relevo seja mais acidentado, há um potencial agroecológico a ser reconhecido, exatamente, pela disponibilidade das condições climáticas que essas pequenas ilhas de florestas oferecem, além da matéria orgânica presente nos horizontes superficiais dos solos, que segundo Rodrigues et al., 2008 indicaram que são em geral, férteis, que além da lavoura da mandioca, cultiva-se frequentemente café.

Neste momento é importante que se apresente alguns estudos referentes à caracterização do solo nesta região, que contribuem para conhecer a temática, assim, Rodrigues et al, (2008) evidenciaram que a cobertura pedológica do município é caracterizada por solos das classes dos Argissolos Vermelho Amarelos e Latossolos, ocorrendo pequenas áreas de Neossolos Litólicos, Neossolos Flúvicos e Gleissolos e afloramentos rochosos. A vegetação original é formada predominantemente por floresta subcaducifólia e floresta caducifólia, ocorrendo nas porções mais altas, floresta subperenifólia.

Tendo em vista que os Argissolos junto aos Latossolos são solos predominantes no território brasileiro, eles são altamente intemperizados e mais relacionados com os ambientes de floresta subcaducifólia em áreas mais restritas na Zona da Mata Sul, porém de grande relevância na América Latina, eles ocupam extensas áreas cultivadas e por esse motivo são importantes como reservas naturais, na resolução dos problemas relacionados à produção de alimentos e na proteção ao meio ambiente. (de Oliveira Neto e Lopes da Silva, 2011).

Por certo, Pereira e Thomaz, 2013, ainda destacam o uso dos Argissolos na cultura da cana-de-açúcar, mandioca e inhame, além da fruticultura (coco, jaca, banana, sapoti, manga, maracujá, acerola e outros citros), e no cultivo de algumas pastagens (capins braquiária, pangola e elefante), mesmo que tenha uma fertilidade natural baixa, a muito baixa, com reação fortemente ácida, esses solos necessitam de correção, para que a cultura absorva todos os nutrientes disponibilizados pela matéria orgânica presente no horizonte superficial, principalmente nos solos de textura arenosa.

Além disso, o Argissolo Vermelho Amarelo (Arg. Verm. Am.) variam de profundos a muito profundos, eles também são bem estruturados e drenados, com predominância do horizonte superficial A, do tipo moderado e proeminente, podem apresentar também o caráter eutrófico ou distrófico, além da textura média/argilosa pertencente ao Grupo Barreiras, que é a faixa sedimentar costeira paralela ao litoral, localizada nas superfícies que precedem o Planalto da Borborema, desenvolvidos de rochas cristalinas ou sob influência destas. Podem apresentar em menor frequência a textura média/média e média/muito argilosa (Pereira e Thomaz, 2013).

Dessa maneira destacou-se a importância de se conhecer a hipsometria e a declividade das vertentes, pois elas contribuíam para a modelagem e prevenção de movimentos de massa, uma vez que são influenciadas pelas forças gravitacionais, provocando a regulamentação no uso do solo através do Código Florestal e na Resolução Conama, em que áreas com declividade superior a 45° ou 100% são consideradas áreas de preservação permanente (APP) (Pereira e Thomaz, 2013)

Com efeito, a área estudada possui 760 m a 860 m de altitude, que após chegar ao topo, esse relevo varia de plano a montanhoso, segundo classificação da declividade de acordo com a EMBRAPA (1979), indicado na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação da Declividade

Tipo de Relevo	Declividade
Plano	$P \leq 3$
Suavemente Ondulado	$3\% < SO \leq 8\%$
Ondulado	$8\% < O \leq 20\%$
Fortemente Ondulado	$20\% < FO \leq 45\%$
Montanhoso	$45\% < M \leq 75\%$
Fortemente Montanhoso	$FM > 75\%$

EMBRAPA, 1979.

De acordo com a Lei n. 12.651/2012 que define área de proteção permanente (APP), reserva legal (RL), áreas de uso restrito (AUR) e as de uso alternativo do solo (UAS), que indica que a área estudada pode ser considerada uma APP, e que podem ou não também, ser protegidas por vegetação nativa, e tem a função de preservar os recursos naturais e a paisagem, garantir a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitando o fluxo gênico da fauna e flora, protegendo o solo e assegurando o bem estar das populações humanas, já RL tem a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos florestais, auxiliando na conservação e na reabilitação dos recursos naturais.

3.4. PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS EM ÁREAS COM DECLIVIDADE

Cada vez mais se exige o cultivo sustentável, em virtude da degradação promovida pelo cultivo convencional, que vem provocando a perda de qualidade do solo (Holland et al., 2018; Saikia, et al., 2020), essa prática exploratória está presente na maior parte das áreas de cultivo do café, que apesar de premiada, impõe o uso cada vez maior de insumos sintéticos, muito embora as áreas com declividade precisem também, de práticas conservacionistas pela fragilidade desse ecossistema. É importante compreender novas demandas mundiais por alimentos mais saudáveis e apresentar as potencialidades do sistema agroecológico com cultivo consorciado de uma cultura perene com mercado historicamente estabelecido.

O uso e manejo do solo corretamente aplicado são fundamentais para desenvolver uma agricultura sustentável, pois o cultivo contínuo degrada o solo e compromete a produção agrícola a alcançar uma boa produtividade (Alcântara e Madeira, 2008), assim sendo, de Melo et al., (2019) afirma que o semiárido é mais susceptível às perdas por processos erosivos, tanto por ação dos ventos, quanto por ação das chuvas, uma vez que a vegetação nativa é menos densa do que as demais regiões, deixando parte do solo descoberto.

De Melo et al., (2019) pesquisaram sobre a degradação do solo no semiárido brasileiro pois a erosão representa uma ameaça à segurança alimentar e à sustentabilidade da produção

agrícola, uma vez que a perda da sua estrutura e o declínio da matéria orgânica e nutriente resultam em maiores gastos com fertilizantes para manter os rendimentos levando às vezes ao abandono da área, com consequência substancial em seu valor (Morgan, 2007).

A prevenção da erosão do solo significa reduzir sua taxa de perda para o que ocorreria sob condições naturais, dependendo da seleção de estratégias apropriadas para sua conservação, e isso, por sua vez, requer uma compreensão completa dos processos de erosão. A vegetação age como uma camada protetora ou amortecedora entre a atmosfera e o solo, as folhas e caules, absorvem parte da energia das gotas de chuva, água corrente e vento; enquanto que os componentes envolvendo o sistema radicular, contribuem para a resistência mecânica do solo. (Morgan, 2005).

A erosão hídrica é dos fenômenos mais danosos do solo que prejudica muito as atividades agrícolas, pois através do escoamento superficial das águas da chuva, principalmente em solo desprotegido, desprende as partículas das camadas superficiais, e causa perda da fertilidade natural do solo e a queda da produtividade agrícola, além de muitos impactos ao ambiente (Ashiagbor et al., 2013; Dechen et al., 2015; Belasri e Lakhouili, 2016; Barros et al., 2018; Xavier et. Al., 2018).

A partir do estudo sobre a mecânica do descolamento e transporte de partículas de solo, por escoamento da água e da ação dos ventos, definem-se as estratégias de conservação do solo baseadas em sua cobertura, que protegem do impacto da gota de água da chuva, aumentando também a capacidade de infiltração do solo, reduzindo o escoamento, a estabilidade agregada do solo e a rugosidade da superfície (Bezerra e Cantalice 2006), concluindo que o dossel aumenta as taxas de cobertura de sol diminuindo as perdas de solo.

As florestas favorecem a proteção de áreas íngremes, como as encostas, contra a erosão, que além de proteger o solo superficial contra a erosão, mantêm altas taxas de evapotranspiração, interceptação e infiltração. As baixas taxas de escoamento e o papel protetor da camada de serapilheira na superfície do solo produzem baixas taxas de erosão e os aumentos na erosão ocorrem quando o solo é permanentemente ou, temporariamente desmatado para a agricultura, e quanto maior a cobertura do solo menor a predisposição a erosão (Fendrich, et al., 1988).

A agrossilvicultura é incentivada em muitos países como uma forma de modificar os sistemas agrícolas existentes para promover a fertilidade do solo, o controle da erosão é uma fonte diversificada de renda. Estudos mostram que sistemas agroflorestais reduzem erosão em pelo menos dez vezes em comparação com a ausência de medidas de conservação do solo (Young, 1998). Os sistemas agroflorestais requerem uma seleção cuidadosa de ambas as culturas e espécies de árvores, se for necessária uma interação benéfica, alcançando e mantendo um solo fértil através da matéria orgânica, está por sua vez melhora a coesão do solo, aumenta sua capacidade de retenção de água e promove uma estrutura agregada estável.

A predominância de relevos mais acidentados indica que o uso adequado do solo deve ser o mais conservacionista possível, de forma que previna a sua degradação. Isso implica considerar que os sistemas de plantio deverão ser iniciados por práticas de conservação do solo. As áreas com declividades inferiores apresentam potencial de uso mais intensivo com culturas anuais, pastagens, olericultura, porém seu uso é também precedido por práticas conservacionistas (Ramalho Filho e Beek, 1995).

Embora a declividade do terreno seja o componente do relevo de maior peso na definição dos sistemas de manejo e das medidas de conservação do solo e da água a serem propostas, não se deve diminuir a influência de outros fatores, como o comprimento e a forma do declive. A utilização de sistemas agroflorestais nas áreas com maior declividade, a preservação poderá conciliar a produção de alimentos com a conservação dos recursos e manutenção da biodiversidade (Franco, 2000). Alguns trabalhos nestas áreas demonstram a viabilidade com espécies arbóreas frutíferas, forrageiras, sombreadoras, palmáceas, entre outras determinando o conceito preservacionista, onde as florestas poderiam ser exploradas por meio de um plano de manejo sustentado, permanecendo essas áreas sempre protegidas pela floresta remanescente (Gonçalves, 1992).

3.5. SISTEMA AGROFLORESTAL, SISTEMA ORGÂNICO E BIODIVERSIDADE EM PLANTAÇÕES DE CAFÉ SOMBREADO

Os sistemas agroflorestais (SAF's) são alternativas de uso e manejo dos recursos naturais, nos quais espécies nativas ou florestais são associadas com culturas agrícolas, de maneira simultânea ou em sequência temporal, com interações com objetivos ecológicos e ou econômicos significativas entre os componentes, podendo-se constituir em prática recomendável nas várias regiões do Brasil (Gama-Rodrigues, 2006). As práticas agroflorestais

podem não só reverter, mas retardar a degradação do solo, aumentar sua fertilidade, remover o gás carbônico fixando o carbono e garantindo subsistência por meio do fornecimento de benefícios ecológicos e econômicos. Os SAF's diversificam as atividades econômicas na propriedade, aumentando a lucratividade por unidade de área e minimizando os riscos de perdas de renda por eventos climáticos ou mesmo por condições adversas de mercado (Mbow et al., 2014b).

As atividades dos SAF's são integradoras e aperfeiçoam o uso do solo e apresentam múltiplas potencialidades tanto no sentido ecológico quanto econômico, permitindo a sustentabilidade socioeconômica e ambiental, pois combina produção sustentável com adaptação e mitigação das mudanças climáticas (Vaast, et al., 2016). Em termos ecológicos, verifica-se que o uso de espécies arbóreas nos SAF's além de permitir a redução da erosão contribui com o aumento de matéria orgânica através da disponibilidade de biomassa, promovendo a ciclagem de nutrientes e disponibilizando nutrientes ao solo, melhorando a estrutura da fauna do solo e o controle de pragas e doenças através do equilíbrio biológico (Embrapa Agrobiologia, 2004).

A biodiversidade dos sistemas agrofloretais auxilia para manter a biodiversidade e os recursos naturais. Sabe-se que as principais entradas de nutrientes no ecossistema ocorrem via intemperismo, precipitação, fixação assimbiótica e simbiótica de nitrogênio e adubação. As saídas de nutrientes ocorrem via lixiviação, erosão, volatilização e remoção do material orgânico (exploração de diferentes partes da planta, retirada da manta florestal) (Reis; Barros, 1990). Para que esse balanço se equilibre, os componentes de ciclagem e adubação devem ser consideradas como os mais importantes, pois a agricultura orgânica exclui o uso de fertilizantes sintéticos, defensivos agrícolas, reguladores de crescimento e aditivos para a alimentação animal (AAO, 2005).

Souza, 2000 afirma que os SAF's são baseados em técnicas que conduzem ao uso equilibrado do solo, de forma que sejam utilizadas práticas com baixo impacto na estrutura do solo, aplicação de adubos orgânicos, uso de adubação verde com leguminosas, adoção de cobertura morta, manejo de plantas espontâneas, uso de biofertilizantes e adubações minerais auxiliares de baixa solubilidade buscando manter a estrutura e produtividade do solo, trabalhando em harmonia com a natureza.

Na implantação de um sistema orgânico de produção de café os nutrientes fornecidos à lavoura são oriundos das reservas minerais do solo, da matéria orgânica, ou de fertilizantes sintéticos como fontes de micronutrientes. O termo orgânico é utilizado para denominar sistemas agropecuários conduzidos de modo semelhante à vida de um organismo, respeitando os limites naturais e o potencial produtivo da propriedade agrícola. Nesses organismos agrícolas a produção vegetal e animal, os recursos naturais e o homem se desenvolvem de forma integrada (Lima, 2000).

O café orgânico é o resultado de um sistema de produção agrícola que busca manejar, de forma equilibrada, o solo e os demais recursos naturais, de forma sustentável (Moreira, 2009). Promovendo mais biodiversidade e maior sustentabilidade ecológica. O sombreamento pode oferecer vantagens técnicas quando comparado ao cultivo a pleno sol. Melhor qualidade de grão, redução da pressão de pragas e doenças, menor erosão e lixiviação, maior ciclagem de nutrientes, teores mais elevados de matéria orgânica e nutrientes no solo, redução nos gastos com controle de espécies vegetais invasoras. Manutenção de um clima mais ameno e mais úmido, maior disponibilidade de água no solo e possibilidade de renda extra são algumas destas vantagens (Moreira, 2009; Altieri, 1999; Camargo 2007; Coelho et al., 2006).

Sistemas sombreados são conhecidos por fornecer habitats para diferentes grupos de animais e, portanto, suportam uma comunidade de vida selvagem mais diversificada do que sistemas gerenciados sem sombra (Bhagwat et al., 2008), pois protege a lavoura contra as intempéries promovendo a sustentabilidade da cultura (Guimarães et al., 2015). Essa maior biodiversidade e estrutura de vegetação mais complexa têm sido associadas a diferentes serviços ecossistêmicos.

O efeito potencial do controle natural de pragas é particularmente importante, já que os danos causados por pragas e doenças representam grandes riscos para os pequenos cafeicultores. Evidências empíricas de vários estudos sugerem que, por exemplo, as aves podem desempenhar um papel importante na minimização dos efeitos das pragas, já que Perfecto et al. (2004) descobriram que os sistemas de café sombreado mais diversificados apoiaram uma comunidade de aves aumentando a predação em lagartas, e reduzindo assim, os danos às plantas e frutos.

Um estudo de exclusão de aves por Kellerman et al., (2008) mostraram que elas forneciam serviços ecologicamente e economicamente valiosos aos cafeicultores jamaicanos,

reduzindo os danos da broca do café. A diferença na proporção de grãos de café danificados foi traduzida em benefício médio, excluindo outros benefícios diretos, como a redução do uso de pesticidas. Espera-se, portanto, que esses serviços fornecidos pela biodiversidade contribuam positivamente para os meios de subsistência dos agricultores e aumentem a resiliência a pragas e doenças. Além disso, os sistemas de café sombreados, portanto, ajudam a manter paisagens que, de outra forma, seriam muito mais pobres em termos de biodiversidade.

O cultivo do cafeeiro, numa propriedade onde se pretende o manejo integrado, todos os resíduos devem ser tratados de maneira semelhante para reaproveitamento no processo produtivo, os orgânicos devem ser reaproveitados na forma de composto, cobertura morta, substratos, já as embalagens devem ter a disposição adequada e os efluentes líquidos convenientemente tratados (Alvarenga, M. I. N; Martins, M.; de Paula, M. B. 2002).

A cafeicultura orgânica pode ser conceituada como um sistema de produção que se baseia no melhoramento e na conservação da fertilidade do solo, no uso apropriado de energia e no estímulo à biodiversidade vegetal e animal, promovendo um manejo integrado mediante técnicas e insumos compatíveis com o ambiente e proibindo o uso de agroquímicos sintéticos (López de León; Mendoza Diaz, 1999).

3.5.1. Influência dos níveis de sombra na produção do café bienalidade em sistema agroflorestal

A qualidade do café é adquirida com práticas de manejo adequada, Morais et al, 2007, afirmaram que o sombreamento não só reduz os efeitos da bienalidade na produção de grãos, mas aumenta a longevidade do cafeeiro e uniformiza a maturação dos frutos, além disso, contribui para a manutenção da umidade e redução da amplitude térmica do solo, com implicações indiretas nos atributos físicos, químicos e biológicos (Jaramillo-Botero et al., 2010). A relação entre sombra e produtividade do café, supõe que a sombra diminui a produtividade do café (Foley et al., 2011; Seufert et al., 2012). Entretanto, não foram encontradas relações entre a produtividade do café e a cobertura de sombra de acordo com um número crescente de estudos mostrando que níveis moderados de sombra têm pouco efeito sobre a produtividade do café (Perfecto, et al., 2005; Soto-Pinto, et al., 2000).

A sombra das árvores pode competir com o café por recursos como luz, água e nutrientes do solo (Laycock e Wood, 1963; Siles et al., 2010a), as árvores reduzem o movimento do ar e

umentam a umidade, o que pode favorecer o aparecimento de doenças fúngicas (Smith, 1981). Lin (2010) afirmava que a presença de cobertura de sombra em sistemas agrofloretais tem o potencial de reduzir a evaporação do solo e a transpiração do café, além de indicar que o solo superficial (0-30 cm) estava mais seco na área não sombreada e em profundidades de 100-200 cm, mas também descobriu que, no geral, a água do solo estava mais disponível na área não sombreada (Cannavo et al., 2011), comparando dois terrenos adjacentes, um sistema agroflorestal de café *inga densiflora* e o outro uma monocultura de café, encontraram redução da transpiração de café e evaporação do solo, conforme previsto por Lin (2010). No entanto, Cannavo et al. (2011) detectaram também uma maior transpiração total (ou seja, efeitos combinados de árvores de café e sombra) e maior interceptação de chuva no sistema agroflorestal em comparação com a monocultura do café.

Maior evapotranspiração real no sistema agroflorestal também resultou em menor drenagem do que na monocultura (Siles et al., 2010b; Cannavo et al., 2011). Os autores também mostraram que o escoamento foi menor e a infiltração de água foi maior na parcela sombreada. A questão da interceptação das chuvas foi mais estudada por Vaast et al., (2014), que encontraram um dossel de árvores de café e sombra para interceptar 15 a 25% da precipitação, com cafeeiros interceptando a maior parte da chuva (9-21%). Embora a cobertura de sombra possa ser benéfica para o crescimento do café e a produção em condições climáticas abaixo do ideal (Vaast et al., 2008), é importante regular a quantidade de sombra, porque muito dela pode resultar em um microclima muito úmido propício a maior incidência de doenças fúngicas, como a ferrugem da folha (causada por *Hemileia vastatrix*) (Avelino et al., 2007) e mancha da folha americana (causada por *Mycena citricolor*) (Wintgens, 2004).

O café é uma cultura frágil que é vulnerável a pragas e doenças de insetos e mudanças no clima, levando a flutuações na produtividade. Pragas e doenças são responsáveis por perdas de aproximadamente 30% a 40% da produção total de café (Lin, 2010; Perfecto, 2007). O manejo intensificado, como a aplicação de fungicidas e inseticidas, visa diminuir essas perdas e maximizar a produtividade.

Segundo Avelino et al., (2006), assim como outros países latino-americanos, o Peru foi atingido pela ferrugem fúngica (*hemileia vastatrix*) e a produção nacional de café diminuiu de 30% a 40% nos últimos anos (Larrea et al., 2014), refletindo-se na produtividade dos agricultores em San Martín, que teve uma redução de 50% entre os anos de 2010 a 2014. O

impacto foi maior para sistemas orgânicos sombreados (-66%) e menor para os agricultores tradicionais (-18%) e como resultado do alto impacto na lavoura, muitos agricultores abandonaram suas plantações ou iniciaram a renovação, com variedades Arábica Catimor, que apesar de ser menos produtiva que a Arábica Caturra, é menos suscetível a essa praga.

3.6. QUALIDADE DO SOLO

Para avaliarmos os sistemas produtivos faz-se necessário analisar os atributos físicos, químicos e biológicos a fim de estabelecer os indicadores de qualidade do solo que estão inter-relacionados entre si (Araújo et al., 2007 e Corrêa et al., 2009), haja vista eles se alterarem de acordo com o manejo, o que influencia diretamente em sua capacidade de produção. Carneiro et al. (2009) e Gomes et al. (2009) indicam que os parâmetros encontrados nos atributos do solo permitem determinar a diagnose desse sistema, subsidiando a adoção de práticas que minimizem os impactos causados pelo manejo. Os atributos mais utilizados como indicadores de qualidade física do solo (QFS) deveriam ser aqueles que consideram a profundidade efetiva de enraizamento, porosidade total, distribuição e tamanho dos poros, distribuição e tamanho das partículas, densidade do solo, resistência do solo à penetração das raízes, intervalo hídrico ótimo, índice de compressão e estabilidade de agregados. (Singer e Eweng 2000).

3.6.1. Matéria Orgânica, Carbono e Atividade Microbiana em Solos

A matéria orgânica do solo (MOS) é o maior reservatório de carbono da superfície terrestre (Smith, 2004), sendo considerada fundamental para a manutenção das características físicas, químicas e biológicas; fisicamente, melhora sua estrutura, reduz a plasticidade e a coesão, e aumenta a capacidade de retenção de água e aeração, permitindo maior penetração e distribuição das raízes; quimicamente é a principal fonte de macronutrientes e micronutrientes essenciais às plantas, atua indiretamente na disponibilidade destes, devido à elevação do pH, aumentando a capacidade de retenção dos nutrientes, evitando perdas, diminuindo o efeito tóxico do alumínio trocável; e biologicamente, todo resíduo de origem vegetal ou animal não decomposto ou parcialmente decomposto é considerado matéria orgânica, que aumenta a atividade dos microrganismos do solo por ser fonte de energia e de nutrientes, tornando-o um organismo vivo (Kiehl, 1981, 1985).

Por estas razões, um solo rico em MO com nutrientes e organismos pode ser considerado saudável. Toda ação, no sentido de conservar e aumentar seus teores devem ser estimulados.

Os vegetais são os principais responsáveis pela adição ao solo de compostos orgânicos primários sintetizados no processo de fotossíntese, que dependendo da quantidade de resíduos depositados poderá resultar em aumento no teor de carbono orgânico do solo (COS) Rangel et al., (2007).

O COS desempenha um papel fundamental na regulação do clima, no abastecimento de água e na biodiversidade, e, portanto, na prestação dos serviços do ecossistema que são essenciais para o bem-estar humano. Manejando os solos com o objetivo de obter benefícios econômicos, sociais e ambientais requer de políticas e incentivos integrados que mantenham e melhorem o COS. São necessárias ações decisivas a serem tomadas para limitar perdas tanto pela erosão e quanto pelas emissões de dióxido de carbono (CO₂) e outros gases de efeito estufa para atmosfera (Victoria et al., 2012)

Os seres vivos são responsáveis por grande parte dos serviços ambientais, de forma que os ecossistemas sustentáveis dependem do fluxo de nutrientes pelas cadeias alimentares, mediado principalmente pelos microrganismos, que são a força motriz da ciclagem da MOS (Nogueira et al., 2006). Bactérias e fungos são os integrantes predominantes da biota do solo (Jastrow et al., 2007). As espécies de bactérias podem chegar à quantidade de 106 gramas ou 107 por grama de solo (Staley, 1997). Essa abundância tem sido atribuída à heterogeneidade de nichos existentes no solo, promovendo a especialização no uso de recursos e a coexistência de espécies. As espécies diferem bastante na sua resposta ao ambiente, o que assegura a manutenção de processos importantes no solo (Bardgett, 2002).

Tabela 2. Interpretação da Fertilidade do Solo em Plantação de Café, com relação ao seu Carbono orgânico (CO) e sua Matéria Orgânica (MO)

Micronutrientes	Unidade	Muito Baixo	Baixo	Médio	Bom	Muito Bom
CO	dag/kg	≤ 0,40	0,41 - 1,16	1,17 - 2,32	2,33 - 4,06	> 4,06
MO	dag/kg	≤ 0,70	0,71 - 2,00	2,01 - 4,00	4,01 - 7,00	> 7,00

Legenda: dag/kg = % m/m; cmolc/dm³; meq/100 cm³ | CO: Carbono Orgânico | MO: Matéria Orgânica. (Mesquita, 2016)

3.6.2. Qualidade Física do Solo (QFS)

Para Reinert e Reichert 2006 é difícil definir um solo fisicamente ideal, em virtude de seu tipo e natureza das variações físicas que ocorrem com o intemperismo ao longo do tempo. Um solo é considerado fisicamente ideal para o crescimento de plantas e, por conseguinte, para

a qualidade ambiental dos ecossistemas quando apresentar as boas características de: retenção de água, arejamento, suprimento de calor, estabilidade dos agregados, infiltração de água além de pouca resistência ao crescimento radicular.

3.6.2.1. Textura do Solo

Para Libardi (2005) a granulometria é definida como a distribuição do tamanho das partículas menores que dois milímetros, que se baseiam em seus diâmetros na fase sólida, suas frações têm escala sugerida pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos – USDA e adotada pelo Brasil, que possui o diâmetro da areia compreendido entre 2,00 mm e 0,05 mm, o silte de 0,05 mm a 0,002 mm e a argila, menor que 0,002 mm. A textura do solo está inter-relacionada com a estrutura e a porosidade, segundo Freire et al., (2013).

A textura é um dos principais indicadores de qualidade e produtividade do solo (Wang et al., 2005), influenciando na dinâmica de adesão e coesão das partículas de solo Solos de textura franca, também conhecidos como textura média, variando de 15% a 35% de argila, o que os torna com boa drenagem e capacidade de retenção de água e índice médio de erodibilidade. As características dos solos de textura franco argilosa possuem maiores teores matéria orgânica e fósforo, além de poucos cuidados durante seu manejo quando comparado aos solos de textura arenosa (Centeno et al., 2017).

3.6.2.2. Densidade do Solo e Densidade de Partícula

Para Reinert e Reichert (2007) a densidade do solo (DS) para o tipo arenoso varia de 1,2 a 1,9 g.cm⁻³, enquanto solos argilosos apresentam valores mais baixos, de 0,9 a 1,7 g cm⁻³. Valores de DS associados ao estado de compactação com alta probabilidade de oferecer riscos de restrição ao crescimento radicular situam-se em torno de 1,65 g.cm⁻³ para solos arenosos e 1,45 g cm⁻³ para solos argilosos. A partir da determinação da densidade do solo estimam-se outras propriedades físicas como o balanço hídrico, a disponibilidade de nutrientes e o sequestro de carbono (Almeida, 2008).

Para Reinert e Reichert, (2007); Cooper e Mazza, (2016), a densidade de partículas não varia com o manejo do solo, pois depende da sua composição química e mineralógica, e a densidade de partícula (DP) se refere apenas à fração sólida, excluindo a porosidade. Entende-se como a relação entre a quantidade de massa de solo seco por unidade de volume de sólido

do solo, sendo uma propriedade que sofre influência da composição das partículas e não do seu tamanho. Se há predominância de minerais pesados, a DP também será alta, entretanto, quando se analisa um solo onde há altos teores de MO, ela será mais baixa em horizontes superficiais e a média encontrada é menor do que a média para horizontes subjacentes (Lorenzo, 2010). A Tabela 3. Representa a variação das DP (g/cm³) para diferentes tipos de solo, considerando um horizonte superficial (A) e um subjacente (B), encontradas por Kiehl, (1979).

Tabela 3. Variação de Densidade de Partículas encontradas para diferentes tipos de solos, considerando horizonte A e B.

Solos	Densidade de Partículas	
	Horizonte A	Horizonte B
Argissolo	2,50 – 2,63	2,65 – 2,70
Nitossolo	2,76 – 2,98	2,82 – 2,98
Latossolo Roxo	2,80 – 3,10	2,92 – 3,16
Latossolo Vermelho Amarelo Escuro	2,50 – 2,70	2,50 – 2,70
Latossolo Vermelho Amarelo	2,49 – 2,59	2,64 – 2,70

KIEHL, (1979) com modificações

3.6.2.3. Porosidade

A análise das propriedades físico-hídricas dos solos agrícolas é um indicador primário importante da sustentabilidade do uso da terra. A porosidade em solos e avaliação da distribuição do diâmetro dos poros do solo são importantes avaliadores da qualidade da estrutura do solo, pois são influenciados pelo manejo podendo prejudicar o fornecimento de água e oxigênio limitando o desenvolvimento das raízes e da produção agrícola. (Santos, 2010).

A cobertura vegetal é representada por cavidades de diferentes tamanhos e formas, determinados pelo arranjo das partículas sólidas (Marques, 2000), e constituem a fração volumétrica do solo ocupada com ar e solução (água e nutrientes). Os poros do solo são responsáveis pelas trocas gasosas, transmissão e armazenamento de água, que garantem o crescimento e o desenvolvimento das plantas no ecossistema (KAISER, 2010). O espaço poroso interfere na aeração, condução e retenção de água, resistência à penetração e à ramificação das raízes no solo e, conseqüentemente, no aproveitamento de água e nutrientes disponíveis (Tognon, 1991).

A função do espaço poroso na dinâmica da água no solo foi reconhecida por vários pesquisadores, que concluíram que a distribuição por diâmetro e comportamento do solo é mais importante que a porosidade total (Anderson e Bouma, 1973; Amaro Filho, 1982), que está

relacionada na Tabela 4, pois há diversos objetivos como movimento e armazenamento de água e gases, fluxo e retenção de calor e desenvolvimento do sistema radicular (Vomocil, 1965; Klein, 1998), sendo possível apenas, com a determinação da distribuição dos poros na matriz do solo, pois, pode haver restrição do fluxo de água, que exerce influência sobre a fertilidade, afeta as relações entre drenagem, absorção de nutrientes, penetração de raízes, aeração e temperatura, relacionando-se diretamente com o desenvolvimento e produtividade das culturas (Letey, 1985).

A água permanece retida e indisponível para as plantas, pois seu potencial matricial fica abaixo do ponto de murcha permanente ($PMP < 1.500 \text{ kPa}$) (Klein 1998; Klein e Libardi, 2002) (Alvarenga, 2010), o potencial de erosão depende do regime pluviométrico, da declividade e da capacidade de absorção do solo. A porosidade regula a quantidade de água absorvida e é dependente da estrutura do solo que está relacionada com a textura e a matéria orgânica.

Com objetivos conservacionistas em um manejo adequado do solo Spera et al., 2009, afirmaram que o aumento de macroporos é o fator mais importante, de forma que valores da macroporosidade $Ma < 0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ poderão tornar a produção agrícola crítica, entretanto, pesquisas de Lanza et al., 2007 afirmaram que esses valores não interfeririam na produção das culturas utilizadas nos sistemas produtivos. Assim, para solos tropicais, esse limite de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ pode não ser o real valor limitante à produção agrícola (Costa et al., 2015). Tendo em vista que após três anos de implantação, o sistema já tenha modificado o solo de forma positiva, melhorando assim toda a sua estrutura.

A macroporosidade está diretamente relacionada com a difusão de oxigênio no solo para as raízes (Grable e Siemer, 1968), que determina a capacidade de aeração do solo (Thomasson, 1978 e Erickson, 1982), e os resultados obtidos sugerem que essa capacidade de aeração segue em ordem crescente nos sistemas de preparo do solo em Plantio Direto (PD); Preparo Mínimo (PM) (escarificação, seguido de gradagem niveladora e posterior plantio); e Preparo Convencional (PC) (aração, com arado de aiveca, a uma profundidade entre 0,25-0,30 m, seguido de gradagem niveladora).

Kiehl (1979) classifica como macro e microporos, os poros com diâmetro maior e menor, respectivamente, que 0,06 mm, enquanto Richards (1965) utiliza diâmetro igual a 0,05 mm como limite de separação entre macro e microporos. Vários autores incluem nesta classificação os mesoporos como uma classe intermediária, como Luxmoore (1981), que

sugeriu uma classificação na qual os microporos apresentam diâmetro menor que 0,01 mm; os mesoporos apresentam diâmetro entre 0,01 e 1,0 mm; e os macroporos, diâmetro maior que 1,0 mm. Já Klein e Libardi (2002), classificam como macroporos, os poros com diâmetro maior que 0,05 mm (que perdem a água em tensões menores que 6 kPa), microporos, aqueles com diâmetro entre 0,05 e 0,0002 mm (que são esvaziados a tensões entre 6 e 1500 kPa) e criptoporos, poros com diâmetro menor que 0,0002 mm (que perdem a água apenas para tensões maiores que 1500 kPa e 24 h de estufa a 105°C até equilibrar).

O formato da Curva Característica de Retenção de Água no Solo (CCRAS) é influenciado pelo diâmetro e distribuição de poros (Dexter e Richard, 2009), com consequências na sua inflexão, decorrente de mudanças na trajetória de escalonamento dos poros, sendo isto resultante da ação conjunta de diferentes atributos do solo associados ao sistema de manejo adotado (Beutler et al., 2002). Uma classificação intermediária considerando quatro classes de poros, baseadas nas sugestões de Klein e Libardi (2002) e Prevedello (2006) são apresentadas na Tabela 4 (EMBRAPA 2017).

Tabela 4. Características de Diferentes Classes de Poros

Tipo de Poro	Ø (µm)	h (m.c.a.)	Raio (µm)	Função
Macroporos (Ma)	Ma > 300	Ma ≤ 0,1	> 25	Aeração distribuição rápida de água
Mesoporos (Me)	300 ≤ Me ≤ 50	0,1 < Me ≤ 0,6	1,5 - 25	Aeração e armazenamento de água facilmente disponível às plantas
Microporos (Mi)	50 < Mi ≤ 0,2	0,6 < Mi ≤ 150	0,1 - 1,5	Armazenamento de água dificilmente disponível às plantas
Criptoporos (Crip)	Crip < 0,2	Crip < 150	< 0,1	Armazenamento de água indisponível às plantas

Legenda: Ø: Diâmetro Equivalente do Poro | m.c.a.: metro de coluna de água. Embrapa (2017) com adaptações.

A CCRAS descreve o comportamento físico-hídrico e a mecânica dos solos não saturados, segundo Cichota & Jon van Lier, (2004) e é parte fundamental da caracterização das propriedades hidráulicas do solo, especialmente em estudos de balanço e disponibilidade de água às plantas, de dinâmica da água e solutos no solo, de infiltração e no manejo da irrigação (Tormena e Silva, 2002).

Frendlund, (1998) determina que a maior capacidade de retenção de água é característica de solos argilosos quando relacionadas com solos arenosos e siltosos, pois quanto maior a plasticidade das argilas, maiores serão os valores de entrada de ar e de sucção residual. Os solos

argilosos perdem a saturação de forma mais lenta, em virtude dos diferentes diâmetros de seus poros. (Figura 1).

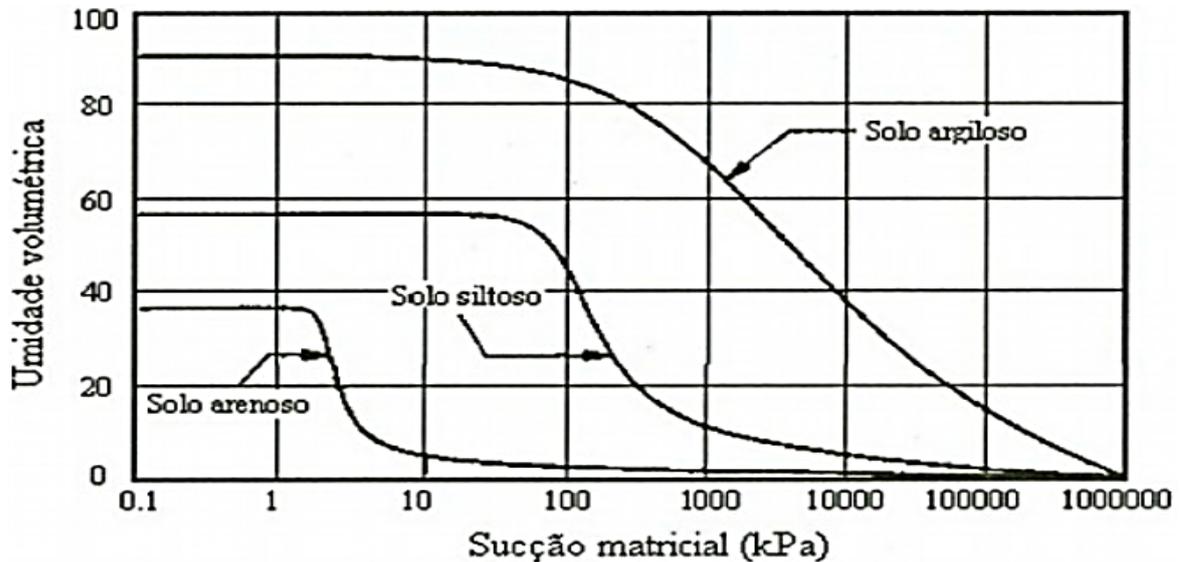


Figura 1. Representação esquemática de curvas características de retenção de água no solo (CCRAS) para diferentes tipos de solo (Vanapalli, 1994)

3.6.3. Qualidade Química do Solo (QQS)

3.6.3.1. Acidez

A acidez do solo é dividida em três componentes: ativa, trocável e potencial. A acidez ativa corresponde à concentração do íon H^+ na solução do solo, que é determinado através do potencial hidrogeniônico, pH, (Teixeira, et al., 2017) que obtido na solução de $CaCl_2$ (0,01 mol/L) reduz a influência de sais sobre a leitura, na proporção 1:2,5 e representa a atividade de íon H^+ mais próxima àquela existente no ambiente radicular das plantas; além de determinar uma maior precisão e estabilidade do equipamento. O pH é um indicativo da fertilidade e da forma química em que o Alumínio se encontra na solução do solo, se é a forma tóxica (Al^{3+}) ou a precipitada $Al(OH)_3$, podendo ser alterada com o manejo, cultivos sucessivos e adubações. As plantas ao absorverem nutrientes catiônicos liberam o H^+ contido nas raízes para a solução do solo, o que reduz o pH e influencia na disponibilidade dos nutrientes existentes nessa solução (Prezotti e Guarçoni, 2013).

Tabela 5. Classificação da acidez ativa do solo (pH em CaCl₂)

Determinação pH em CaCl ₂	Acidez		
	Elevada	Média	Fraca
	< 4,5	4,6 – 5,5	5,6 – 6,5

Prezzoti e Guarçoni, 2013

Com relação à acidez trocável, alumínio (Al³⁺) e hidrogênio (H⁺) trocáveis encontram-se adsorvidos nas superfícies dos colóides minerais ou orgânicos, por forças eletrostáticas. Em solos orgânicos apresentam altos níveis de H⁺ trocável, já em solos minerais existe pouco H⁺ trocável. Tanto a acidez trocável, quanto o Al trocável são considerados equivalentes e nocivas às plantas, e são neutralizadas através da calagem. Por sua vez, acidez potencial (H⁺ + Al³⁺) ou acidez total, também chamada acidez de reserva está presente na superfície dos colóides do solo, e se refere ao total de íons H⁺ em ligação covalente (acidez ativa), mais H⁺ + Al³⁺ trocáveis. (Lopes, 1998)

Prezzoti e Guarçoni (2013) obteve valores com intervalos de acidez trocável e potencial relacionado com a fertilidade do solo (Tabela 6).

Tabela 6. Classes de interpretação de fertilidade do solo para acidez trocável (Al³⁺) e o potencial (H⁺ + Al³⁺)

Elemento - cmolc/kg	Classe de Interpretação		
	Baixo	Médio	Alto
Acidez Trocável (Al ³⁺)	< 0,3	0,3 – 1,0	> 1,0
Acidez Potencial (H ⁺ + Al ³⁺)	< 2,5	2,5 – 5,0	> 5,0

Prezzoti e Guarçoni, 2013

Segundo Malavolta, 1980 o Alumínio é um elemento anfótero e o metal mais abundante no solo. Os aluminossilicatos, por sua vez, são oriundos da ação do intemperismo, que decompõe os minerais primários e secundários. As substituições isomórficas frequentes na formação dos silicatos Si⁴⁺ são substituídas por Al³⁺, na lâmina tetraedral, e o Al³⁺ podem ser substituídos pelo Mg²⁺ e Fe²⁺ na lâmina octaedral. O desbalanceamento causado pela substituição isomórfica provoca um excesso de carga negativa na superfície do mineral, estas consideradas permanentes, não sendo afetada por mudanças de pH do solo. Um pH abaixo de 5,5 e acima de 7,5 aumenta sua solubilidade, causando fitotoxicidade, que por sua vez, eleva a concentração na solução do solo na forma de Al³⁺ (Figura 2).

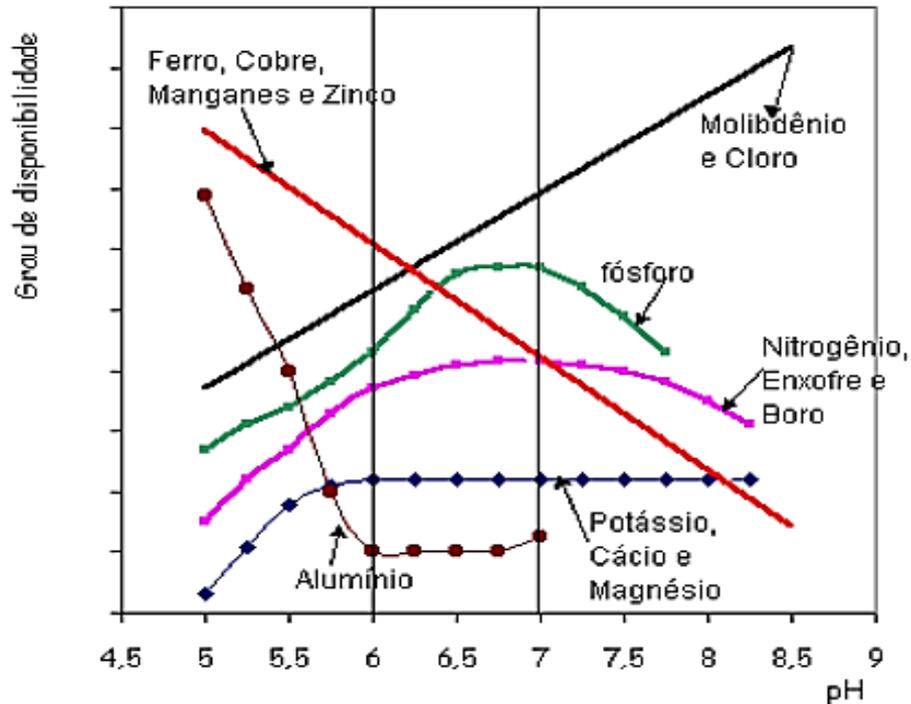


Figura 2. Disponibilidade de nutrientes e alumínio em função do pH do solo. Malavolta, 1979.

3.6.3.2. Complexo sortido do solo e saturação por alumínio m%

Faz parte do complexo sortido do solo a soma de bases, CTC efetiva e CTC total, além da saturação por base (V%). A soma de bases (SB) de cálcio, magnésio, potássio e sódio, na forma trocável, no complexo de troca de cátions (CTC) do solo, indica o número de cargas negativas dos coloides que estão ocupadas por bases. A SB comparada ao CTC efetiva e Al trocável permite calcular a saturação por Al e a saturação por base desta CTC (Lopes, 1998).

A capacidade de troca de cátions efetiva (CTCef) se refere a soma total de cátions trocáveis ($t = \text{CTC efetiva} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Al}^{3+} \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) que o solo pode adsorver, que faz parte dos princípios fundamentais da acidez do solo cabendo a avaliação de suas interrelações, indicando a capacidade do solo em reter cátions próximo ao valor do pH natural, esse parâmetro em conjunto com a textura e teor de MOS pode inferir em uma série de dados adicionais relevantes ao adequado manejo da fertilidade do solo (Lopes, 1998).

A CTC é dependente do tipo da textura e da quantidade de matéria orgânica presente (MO), sendo diretamente proporcional ao número de cátions que pode reter. Geralmente, os minerais de argila apresentam valores de CTC variando entre 10 e 150 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, já a CTC da MO varia de 200 a 400 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, certas relações de nutrientes ou balanços são necessários

para assegurar absorção adequada e altas produções, no entanto, o percentual de saturação por bases da CTC a pH 7 (V%) que reflete em quanto o complexo coloidal do solo está ocupado por bases negativas.

É exceção o Brasil possuir solos com alta CTC, o que predispõe para as altas taxas de lixiviação, levando ao parcelamento das adubações nitrogenadas e potássicas a fim de aumentar sua eficiência. Quanto maior os níveis de MO, maior será a CTC o que interfere também na disponibilidade de nutrientes na solução do solo, e sua variação, conforme figura o teor de nutrientes disponível no solo sofre variação em função da acidez, sendo que a disponibilidade de certo elemento será diferente após uma elevação de pH, resultante de uma calagem.

Tabela 7. Classes de interpretação de fertilidade do solo para Soma de Bases (SB), CTC efetiva e CTC Total

Elemento	Classe de Interpretação			
	Baixo	Médio	Alto	
Soma de Bases - cmolc/kg $K^+ + Na^{2+} Ca^{2+} + Mg^{2+}$	< 2,0	2,0 – 5,0	> 5,0	
CTC	Total - cmolc/kg pH 7.0 (T) T = SB (H + Al)	< 4,5	4,5 - 10	> 10
	Efetiva (t) - cmolc/kg t = SB + Al³⁺	< 2,5	2,5 – 6,0	> 6,0

Prezzoti e Guarçoni, 2013

Tabela 8. Classes de interpretação de fertilidade do solo para saturação por Alumínio (m% e Saturação por Bases (V%))

Elemento	Classe de Interpretação			
	Baixo	Médio	Alto	
Saturação por (%)	Al³⁺ m% = 100 Al³⁺/t	≤ 15,0	15,1 - 30,0	30,1 - 50,0
	Bases V% = 100 SB/T	< 50	50 - 70	> 70

Prezzoti e Guarçoni, 2013

Tabela 9. Classes de interpretação de fertilidade do solo de Carbono Orgânico (CO)

Elemento	Classificação			
	Baixo	Médio	Alto	
dag/kg	Matéria Orgânica do Solo (MO)	< 1,5	1,5 – 3,0	> 3,0
	Carbono Orgânico (CO)	< 0,87	0,87 – 1,74	>1,74

Mesquita, et al., 2016

A matéria orgânica (MO) do solo é formada pelos resíduos da parte aérea e radicular das plantas, de micro-organismos e exsudados de raízes, é constituída basicamente por C, H, O, N, S e P. A proporção destes elementos gira em torno de 58% de C, 6% de H, 33% de O e 3% de N, S e P. O teor de MO do solo é calculado multiplicando-se o teor de carbono do solo (carbono orgânico) pelo fator 1,72 (obtido pela divisão 100/58). Matéria Orgânica = Carbono Orgânico x 1,72 (Prezzoti e Guarçoni, 2013).

3.6.3.3. Macronutrientes e Micronutrientes

Os elementos considerados essenciais para as culturas, mesmo que estivessem disponíveis, se não tiver na quantidade adequada, pela *Lei do Mínimo*, a produtividade permanecerá limitada (Mesquita et al., 2016), então a boa produtividade de um sistema agroflorestal está diretamente relacionada ao manejo adequado, com objetivo de que o sistema absorva todos os nutrientes fornecidos pelo processo de decomposição, decorrente das podas (Mendonça; Stott, 2003).

O sistema agroecológico exporta nutriente através da colheita de seus frutos, mas mantém os resíduos das podas no sistema, retornando com as cascas dos frutos de café após o beneficiamento, melhorando a ciclagem nutricional e fortalecendo a adubação orgânica. (Mesquita et al., 2016), não há desequilíbrio e empobrecimento do sistema como ocorre na extração e a exportação de nutrientes promovida pelo sistema convencional.

Atualmente existem poucas pesquisas relacionadas à qualidade do solo (QS) para o cultivo do café em sistema agroflorestal, por tal motivo, novas pesquisas vem sendo comparadas com os parâmetros seguidos pelo sistema de cultivo convencional. Para indicar a disponibilidade de Fósforo (P) atual no solo e auxiliar o manejo garantindo uma máxima eficiência econômica das culturas, a estimativa da textura média do solo, objeto de estudo, em função do fósforo remanescente (P-rem) está entre 20-40 mg/L, e a disponibilidade de P para as culturas perenes, como é o caso do café sombreado, a partir de 10 mg/dm³ já satisfaz a necessidade da planta (Prezotti et al., 2007), conforme Tabela 10.

Tabela 10. Classes de interpretação para P disponível em função cultura do café e do P remanescente (P-rem)

Cultura Perene mg/L	P-rem -----mg/L-----	Baixo	Médio	Alto
			-----mg/dm ³ -----	
< 20	< 20	< 5	5 – 10	> 10
20 – 40	20 – 40	< 10	10 – 20	> 20
> 40	> 40	< 20	20 – 30	> 30

Fonte: Prezotti et al. (2007).

Uma pequena fração do Potássio (K) encontra-se em formas mais disponíveis para as plantas, o K trocável e ligado aos ânions das argilas e em solução permanece livre, entretanto, o processo lento ocorre com a intemperização dos minerais, pois parte do K estrutural passa para a solução do solo e de forma trocável, no entanto, é insuficiente para suprir culturas comerciais de maior produtividade, as culturas perenes, segundo Prezotti et al., 2007 com faixas de média interpretação para K disponível, pelo extrator de Mehlich-1, em culturas perenes são consideradas: baixo, se K disponível < 60 mg/dm³, médio, se K disponível for 60-150 mg/dm³ e alto se K disponível > 150 mg/dm³, conforme Tabela 11.

Tabela 11. Classes de interpretação para potássio disponível (K-disponível) para cultura perene

Baixo	Médio mg/dm ³	Alto
< 60	60 – 150	> 150

Fonte: Prezotti et al. (2007).

Para Prezotti e Guarçoni, (2013) em relação aos micronutrientes se faz necessário conhecer suas características e a dinâmica no solo e na planta, prevenindo as deficiências e atendendo a lei do mínimo, que limita a produção das culturas pelo nutriente mineral menos disponível para as plantas, na Tabela 13 há as características e comportamentos dos micronutrientes.

Tabela 12. Macronutrientes Secundários classes de interpretação em função da disponibilidade no solo e suas limitações e peculiaridades

Macronutrientes Secundários			
Cálcio - Ca			
Classificação			
Baixo	Médio	Alto	
cmol/dm³			
< 1,5	1,5 - 4,0	> 4,0	
Magnésio - Mg			
Classificação			
Baixo	Médio	Alto	
cmol/dm³			
< 0,5	0,5 – 1,0	> 1,0	
Enxofre - S			
Classificação			
Baixo	Médio	Alto	
mg/dm³			
< 5,0	5,0 – 10	> 10	

Obtidos na forma trocável (iônica Ca²⁺ e Mg²⁺) passível de absorção pelas plantas, com teores diretamente relacionados a acidez dos solos. Solos ácidos apresentam baixos teores e são os que mais influenciam na Saturação por Bases (V), em razão da sua maior taxa de ocupação na CTC Total (T)

Teor de S é facilmente alterado com o manejo do solo ou com a precipitação pluviométrica, sendo lixiviado facilmente na sua forma iônica SO₄²⁻. Geralmente seu teor é menor nas camadas inferiores de 20-40cm.

Tabela 13. Micronutrientes classes de interpretação em função da disponibilidade no solo e suas limitações e peculiaridades

Micronutrientes			
Boro – B			Facilmente lixiviado em solos arenosos e com baixos teores de MO. Altas pluviosidades e excessos nas laminas de irrigação elevam as perdas por lixiviação. Os sintomas de deficiência ocorrem em períodos secos e tendem a desaparecer com o retorno da umidade adequada do solo. Isto ocorre em razão de redução da mineralização da matéria orgânica, importante fonte de B para o solo. A seca também reduz o transporte de B no solo e o crescimento das raízes, reduzindo assim a sua absorção.
Classificação			
Baixo	Médio	Alto	
< 0,35	0,35 – 0,9	> 0,9	
Cobre - Cu			Em solos orgânicos há maior probabilidade de ocorrência de deficiência pela formação de complexos estáveis, o que dificulta a absorção pelas plantas. Em solos arenosos são mais deficientes que solos argilosos devido a facilidade de lixiviação.
Classificação			
Baixo	Médio	Alto	
< 0,8	0,8 – 1,8	> 1,8	
Cloro - Cl			Embora seja um dos íons de maior mobilidade, sendo facilmente lixiviado, geralmente encontra-se em boa disponibilidade para as plantas. Sua disponibilidade aumenta com a calagem. Apresenta-se em maiores teores em solos próximos ao mar ou naqueles que recebem tratamentos com águas salinas, como as de laticínios.
Ferro - Fe			Geralmente abundante em solos tropicais. Sua disponibilidade e muito reduzida com o aumento do pH do solo. Por esta razão, a calagem e uma pratica eficiente para reduzir a toxidez de Fe em culturas sensíveis a este elemento. A deficiência de Fe pode ser causada por excesso de P, pH elevado e baixas temperaturas.
Classificação			
Baixo	Médio	Alto	
< 20	20 - 45	> 45	
Manganês			Assim como o Fe, geralmente e abundante em solos tropicais. Sua disponibilidade também diminui com o aumento do pH do solo. Em solos orgânicos ha formação de complexos que reduzem a disponibilidade de Mn para as plantas. Os sintomas de deficiência são mais comuns em solos arenosos, com baixa T e em épocas secas e temperaturas elevadas.
Classificação			
Baixo	Médio	Alto	
< 20	20 - 45	> 45	
Molibdênio - Mo			As deficiências ocorrem em solos arenosos e em solos ácidos, a calagem, por sua vez, aumenta sua disponibilidade. É importante na fixação do N atmosférico pelas leguminosas. E requerido em pequenas quantidades pelas plantas, sendo que 40 a 50 g/ha geralmente suprem as necessidades.
Níquel – Ni			Passou a ser um micronutriente essencial às plantas após estudos comprovando sua função como componente da urease, enzima que catalisa a reação da ureia, transformando-a em amônia e gás carbônico. Não há trabalhos que constataam deficiência de Ni em plantas. Cuidados devem ser tomados com a toxidez causada por aplicações de resíduos industriais e lodo de esgoto.
Zinco - Zn			A ocorrência de deficiências e mais comum em solos argilosos com elevado pH. Assim como o P, e retido com muita energia pelas argilas do solo, o que dificulta a sua absorção pelas plantas. A calagem reduz a disponibilidade de Zn em razão do aumento do pH. Altas doses de fertilizantes fosfatados também reduzem a disponibilidade de Zn
Classificação			
Baixo	Médio	Alto	
< 1	1,0 – 2,2	> 2,2	

Fonte: Prezotti e Guarçoni, com adaptações (2013)

O sódio mesmo não sendo um nutriente essencial às plantas sua determinação é importante, principalmente nos solos com características de solos salinos, próximos ao litoral ou que receberam efluentes ricos em sais. Se estiver em altas concentrações no solo, o Na pode

causar prejudicar a produtividade das culturas por dificultar a absorção de água e nutrientes, através do efeito dispersante sobre as argilas, desestruturando o solo, reduzindo a infiltração de água, as trocas gasosas e dificultando a penetração de raízes. Para isso se calcula o índice de saturação de sódio (ISNa) em relação aos demais cátions trocáveis na CTC T do solo, em muitos casos o ISNa é baixo, quando comparado aos demais cátions trocáveis, que influencia pouco na SB e na T dos solos, por essa razão, muitas vezes o valor de Na é desconsiderado nesses cálculos:

$$\text{ISNa} = \{[\text{Na}^+ \text{ (cmolc/dm}^3\text{)} / \text{T (cmolc/dm}^3\text{)}] \times 100\} \quad (1)$$

3.6.4. Qualidade Biológica do Solo (QBS)

3.6.4.1. Biomassa microbiana

A biomassa microbiana do solo (BMS) é a parte viva responsável pela decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) e pela ciclagem de nutrientes. É fonte de nutrientes e ao mesmo tempo os imobiliza, tornando-os menos imediatamente acessíveis para as plantas e impedindo sua lixiviação do solo (Cardoso, 2004). A decomposição da MOS produz CO₂, NH₄⁺, NO₃⁻, PO₄⁻³ e SO₄⁻². Nesse processo, C é reciclado da atmosfera como CO₂, nitrogênio atmosférico torna-se disponível como amônio e nitrato, e outros elementos associados, como P, S e microelementos, tornam-se assimiláveis pelas plantas (Vargas e Hungria, 1997). Uma maior diversidade vegetal favorece o desenvolvimento da biomassa microbiana aumentando o teor de COS (Silva et al., 2012).

No agroecossistema, a biomassa microbiana imobiliza entre 100 e 600 kg/ha de N e 50 e 300 kg/ha de P até a profundidade de 30 cm no perfil do solo, quantidades que excedem a aplicação anual de fertilizantes (Martens, 1995). O manejo do solo pode afetar o equilíbrio relativo destes processos e seus impactos ambientais. Como as reações estão ocorrendo na parte inferior do solo, uma parcela do carbono é mineralizada muito rapidamente em CO₂ e é perdido a partir do solo. A MOS também pode ser perdida através da erosão física, e o nitrogênio orgânico contido na biodegradação transformada de N₂O em outro óxido de nitrogênio (NO_x) composto. No entanto, algumas de suas frações não são facilmente degradadas.

3.6.4.2. Carbono orgânico do solo

O conteúdo do carbono orgânico do solo (COS), por conseguinte, tende a aumentar na medida em que se desenvolve no solo não perturbado ao longo do tempo. A matéria orgânica liga-se a minerais, particularmente partículas de argila, um processo que protege ainda mais o carbono (Von Lützow et al., 2006). A matéria orgânica também fornece uma força coesa para o solo melhorando sua fertilidade, o movimento da água, e a resistência à erosão.

A BMS desempenha papel de destaque no cenário da sustentabilidade ambiental e representa a fração lábil da MOS, de natureza dinâmica e facilmente alterada por fatores bióticos e abióticos (Powlson et al., 1987; Gama-Rodrigues, 1999), pode ser estimada por métodos relativamente simples, pela quantificação de componentes extraídos do solo. A medição da taxa respiratória ou atividade microbiana é determinada pela evolução do CO₂ oriundo da respiração de microrganismos heterotróficos aeróbicos durante a oxidação de compostos orgânicos (Kennedy e Smith, 1995). A avaliação em laboratório tem a vantagem de eliminar organismos da mesofauna e partes da planta que poderiam mascarar os resultados (Kelting et al., 1998), a temperatura e a umidade podem ser facilmente controladas.

No entanto, quando amostras de solo são levadas ao laboratório, o grau de manipulação influencia na sua estrutura e nas trocas gasosas. No campo, as mensurações da respiração consideram a serapilheira e são amplamente usadas para avaliar a atividade geral da sua biomassa, sob a influência do clima, das propriedades físicas e químicas e de práticas agrícolas ou silviculturais, como rotação de culturas (Paul et al., 1999), adição de matéria orgânica (Schnürer et al., 1985) ou cobertura morta (Schroth et al., 1992), plantio direto (Balota et al., 1997), cultivo mínimo (Gunapala e Scow, 1998), idade do povoamento, tipo de solo e espécies de árvores (Bauhus et al., 1998), mistura de espécies (Kautz e Topp, 1998) e presença de animais e excrementos no solo (Bardget et al., 1998), que normalmente aumentam a biomassa e a atividade da microbiota do solo. O cultivo, além de afetar a química e a estrutura do solo, diminui a atividade biológica devido à redução de macroagregados, que fornecem importantes micro habitats para a atividade microbiana (Dick, 1992). A inclusão de componentes arbóreos pode manter ou aumentar a produtividade de determinado local, devido a processos que aumentem a entrada ou reduzem perdas no solo, como matéria orgânica, nutrientes e água, além de melhorar as propriedades físicas e químicas e beneficiar processos microbiológicos do solo (Young, 1994).

Os resultados de C e N da biomassa microbiana do solo, quando associados aos resultados da atividade microbiana (CO₂ liberado) e atributos químicos, como C orgânico e N total, possibilitam a obtenção de índices microbianos que expressam a dinâmica do C e N de maneira mais adequada que os valores absolutos (Monteiro e Gama-Rodrigues, 2004). A relação entre C da biomassa microbiana e o C orgânico do solo reflete a qualidade da MOS, assim como a eficiência de conversão do C do solo em C microbiano. Da mesma maneira, a relação entre N da biomassa microbiana e o N total do solo indica a eficiência de conversão do N do solo em N microbiano (Sparling, 1992). Por sua vez, o quociente metabólico (qCO₂) (relação entre quantidade de CO₂ liberado por unidade de C da biomassa microbiana e por unidade de tempo), proposto por Anderson e Domsch (1993), é utilizado para avaliar efeitos ambientais e antropogênicos sobre a atividade e a biomassa microbiana. Gama-Rodrigues et al. (1997) verificaram que o qCO₂ foi um indicador sensível para estimar o potencial de decomposição da MOS.

A taxa de respiração basal representa uma forma eficaz de se perceber mudanças nos teores de C no solo associando com as condições de manejo utilizadas, possibilitando avaliar o efeito da atividade dos microrganismos presentes na matéria orgânica que é adicionada ao solo (Fries e Aita, 1990). A saída de CO₂ próximo à camada do solo é indicada pela respiração microbiana (Souto et al., 2009).

A respiração microbiana representa a oxidação da matéria orgânica (MO) por organismos aeróbios que utilizam O₂ como receptor de elétrons até CO₂ (Moreira e Siqueira, 2002), constituindo um método prático para estimativa da quantidade de microrganismos vivos no solo (Santos e Camargo, 1999). A umidade, temperatura, aplicação de defensivos, metais pesados e a disponibilidade e degradação dos resíduos vegetais são fatores de influência na atividade respiratória, considerada como um indicador da condição ambiental (de-Polli e Guerra, 1997).

A Respirometria quantifica o índice de atividade microbiana geral, que compreende todos ou quase todos os processos realizados por micro-organismos aeróbios do solo e pode ser feita de duas maneiras: a) pela medida de consumo de O₂ pelos microrganismos ou b) pela produção de CO₂ resultante da oxidação do material orgânico por organismos aeróbios de uma amostra de solo (D'Andréa et al., 2002; Moreira; Siqueira, 2006). Neste sentido, as análises de CO₂ são imprescindíveis para o estudo dos solos envolvendo as atividades biológicas, material

orgânico em decomposição, quantidade de biomassa microbiana e a determinação do conteúdo de carbonato (Souto et al., 2009).

3.7. IMPORTÂNCIA DA FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTAÇÕES AGROECOLÓGICAS

Quando se procura uma área para desenvolvimento sustentável de uma exploração agrícola, a primeira atividade que se deve conhecer, além das condições planta e atmosfera, é a capacidade do solo em fornecer nutrientes essenciais ao crescimento e desenvolvimento das plantas. O diagnóstico identifica os principais fatores que afetam a capacidade produtiva do solo, ao mesmo tempo, cercar-se de conhecimentos necessários para a tomada de decisão (Santos e Silva, 2012).

A biodiversidade mantém o equilíbrio do sistema, pois cada espécie presente em um ecossistema é importante para o seu funcionamento. Quanto maior a biodiversidade, mais sustentável será o sistema de produção (May, P. H. (2015).

As atividades microbianas do solo recebem influência de qualquer forma de intervenção humana, práticas de manejo como o monocultivo e a queima da vegetação, alteram as condições de vida e a nutrição dos organismos do solo, resultando na degradação dos seus microambientes, e reduzindo a biomassa e a biodiversidade, para tal é necessário buscar o equilíbrio do sistema (Curry e Good, 1992).

O método utilizado na implantação e manejo da agrofloresta é uma tentativa de replicar as estratégias usadas pela natureza para aumentar a vida e melhorar o solo. Na natureza as plantas ocorrem em consórcios (e não isoladas) e requerem outras plantas para um ótimo desenvolvimento. Da mesma forma, na agrofloresta, as plantas cultivadas são introduzidas em consórcios, de forma a preencher todos os nichos, considerando nessa combinação, espécies nativas, da regeneração ou introduzidas, e também espécies exóticas, bem adaptadas às condições de solo e clima locais. Além de combinar as espécies no espaço, combinam-se os consórcios no tempo, assim como ocorre na sucessão natural de espécies, onde os consórcios se sucedem uns após outros, num processo dinâmico, dependendo do ciclo de vida das espécies (Peneireiro, 2007).

Diversos estudos têm sido realizados com o intuito de identificar sistemas de manejo que melhorem a qualidade do solo (Salmi et al., 2009). Para avaliação da viabilidade ambiental

de um agro ecossistema, convencional ou conservacionista tem-se sugerido como ferramenta, o monitoramento de suas propriedades físicas e química, que podem servir como indicadores de qualidade do solo (D'andrea et al., 2002; Sharma et al., 2005), como no caso dos parâmetros usados para indicar o nível de fertilidade do solo. Em se tratando da qualidade química, são muitos os estudos que demonstram modificações desta propriedade em função dos diferentes manejos dos sistemas agrícolas (Silva; Silveira, 2002). Assim, qualquer perturbação pode alterar diretamente sua estrutura e sua atividade biológica, levando a consequências significativas na sua fertilidade, com reflexos nos diferentes agros ecossistemas (Brookes, 1995).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida na fazenda Várzea da Onça, área Conceição, inserida no município de Taquaritinga do Norte, pertencente à unidade geoambiental do Planalto da Borborema, Estado de Pernambuco. A área está inserida no relevo denominado Brejo de Altitude, localizado as margens da PE-130, a mais ou menos 12 km da PE-104. A classificação do solo corresponde a um Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico Típico textura média/argilosa, com horizonte A proeminente, floresta subperenifólia e relevo montanhoso.

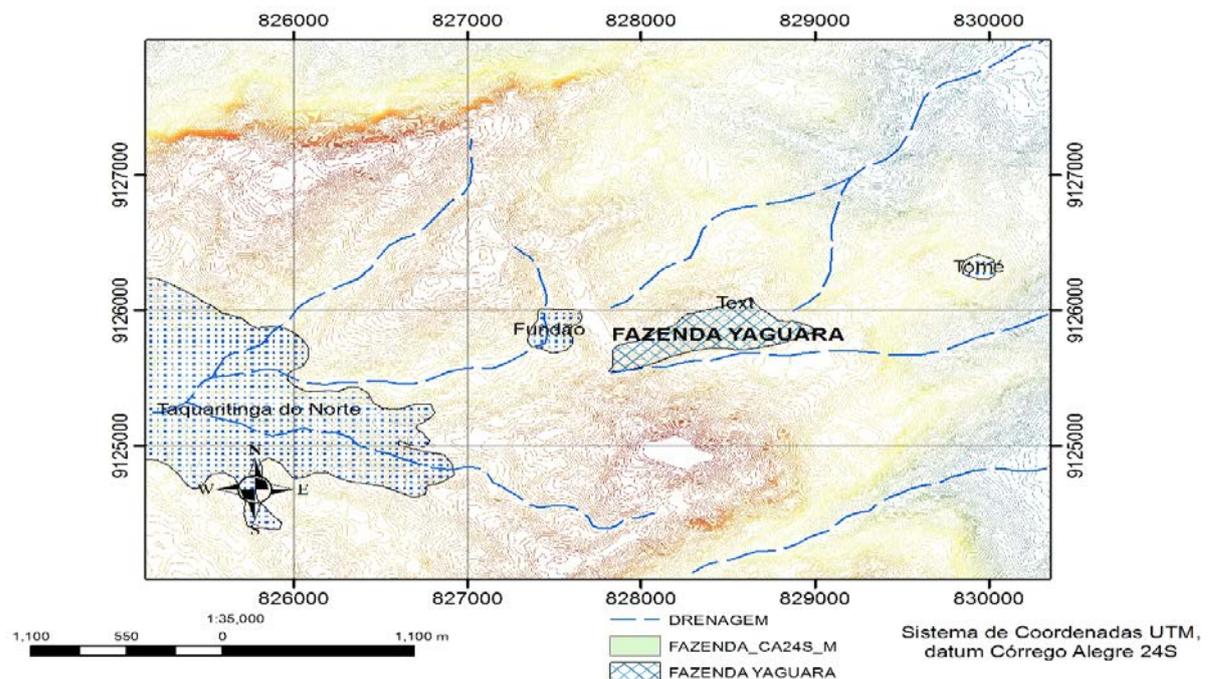


Figura 3. Mapa de localização da área de estudo, fazenda Yaguara ecológico no município de Taquaritinga do Norte - PE

KÖPPEN (1948) classifica como Aw a região, de clima tropical com inverno seco, relevo montanhoso com vales profundos e estreitos. Suas maiores precipitações são registradas entre os meses de fevereiro a agosto, com a média anual de 721 mm. A temperatura média anual de 21°C e altitude entre 736 m e 1.100 m. Nas Figura 4 e Figura 5 observa-se o comportamento das chuvas e da temperatura ao longo do ano. As médias climatológicas a partir de uma série de dados dos últimos trinta anos, segundo IBGE.

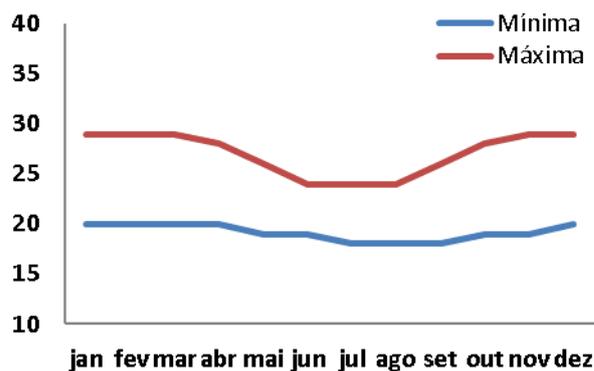


Figura 4. Temperatura Mínima e Máxima em Taquaritinga do Norte nos últimos trinta anos

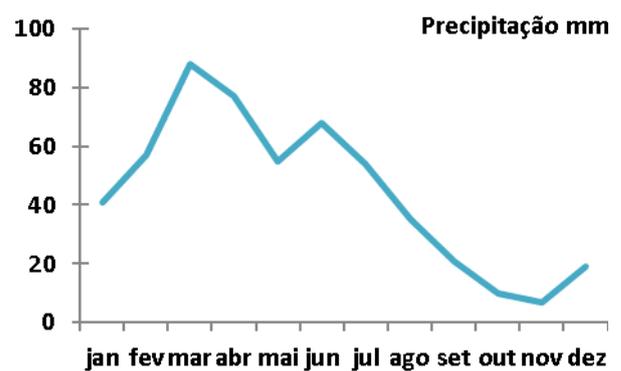


Figura 5. Precipitação Pluviométrica (mm) nos últimos trinta anos

4.2. PARÂMETROS FÍSICOS HÍDRICOS DO LOCAL DO EXPERIMENTO

Os parâmetros Hipsométrico e Declividade do local do experimento foram levantados utilizando o Software Spring (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) 5.1.8 desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DPI/INPE), escolhido por ser um programa gratuito não gerando custos para seu uso e também por este suprir as necessidades do trabalho.

4.3. DESCRIÇÃO HIPSOMÉTRICA DA ÁREA CONCEIÇÃO

Devido à amplitude altimétrica total da área do experimento ser de 100 metros, para geração da carta de hipsometria foram criadas dez classes de altitude, cada qual com 10 metros de amplitude, as quais são: 760-770; 770-780; 780-790; 790-800; 800-810; 810-820; 820-830; 830-840; 840-850; 850-860 geradas na escala de 1:7000 por esta ser a que apresentou melhores ajustes e representatividade. Os Brejos de Altitude ocorrem principalmente ao longo das encostas oriental e sul-oriental do maciço da Borborema, ampliando-se para o interior, ocupando também alguns pontos mais elevados do maciço.

A situação de escassez dos recursos hídricos agrava-se devido às pequenas espessuras de solo, com o embasamento cristalino a pouca profundidade, de modo que o armazenamento da umidade no solo é bastante reduzido e a vazão na maior parte dos rios da região é efêmera ou intermitente. O Brejo de Taquaritinga do Norte abrange além do município e se estende até pequenas áreas dos municípios de Vertente e Toritama, totalizando 59 km². Trata-se de um conjunto de elevações com relevo suave ondulado, a forte ondulado com declives, às vezes, acentuados, apresentando altitudes compreendidas entre 750 m a 1.000 m, a área estudada compreende 760 m a 860 m, que após chegar ao topo vai de plano a montanhoso, segundo classificação da declividade de acordo com a EMBRAPA (1979).

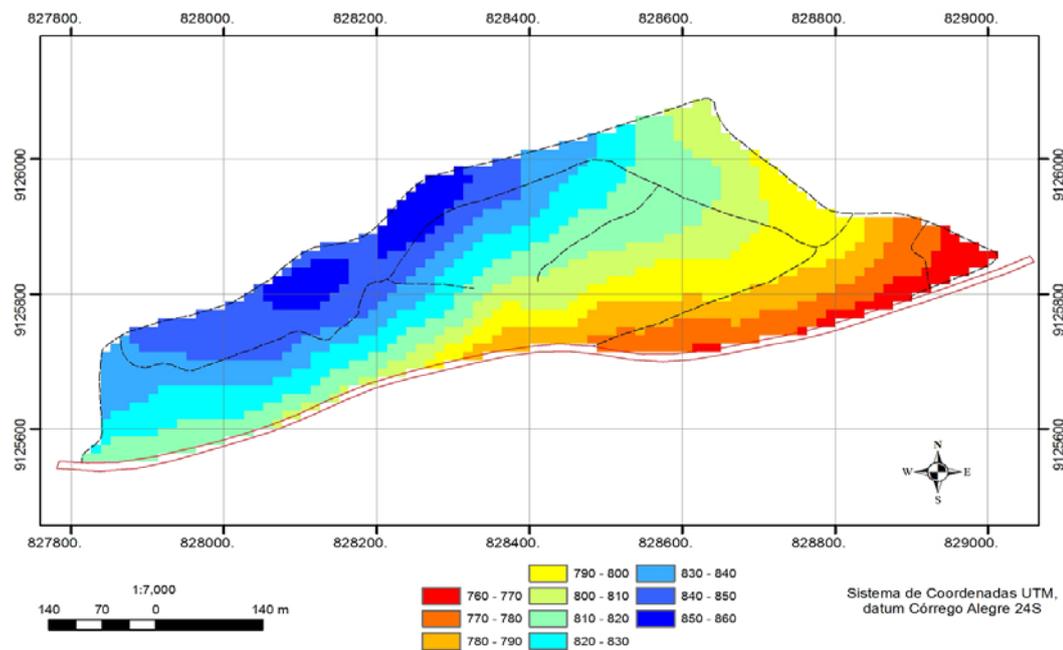


Figura 6. Mapa hipsométrico da área Conceição em Taquaritinga do Norte - PE

4.4. DESCRIÇÃO DA DECLIVIDADE DA ÁREA

A obtenção do mapa da Declividade permitiu relacionar os pontos sensíveis a degradação através dos movimentos de massa, e processos erosivos, além da interferência nos processos de uso e ocupação dos solos, pois quanto maior o ângulo da declividade, maior é a energia potencial das águas pluviais que se transformam em energia cinética, o que aumentaria a velocidade das massas de água e sua capacidade de transporte, assim em áreas com maior declividade, há uma tendência maior da perda de solo e por consequência uma maior degradação. Por ser uma área cultivada sob a floresta nativa, com cultura permanente diminui ou praticamente elimina a possibilidade de influência dos processos atuantes na vertente.

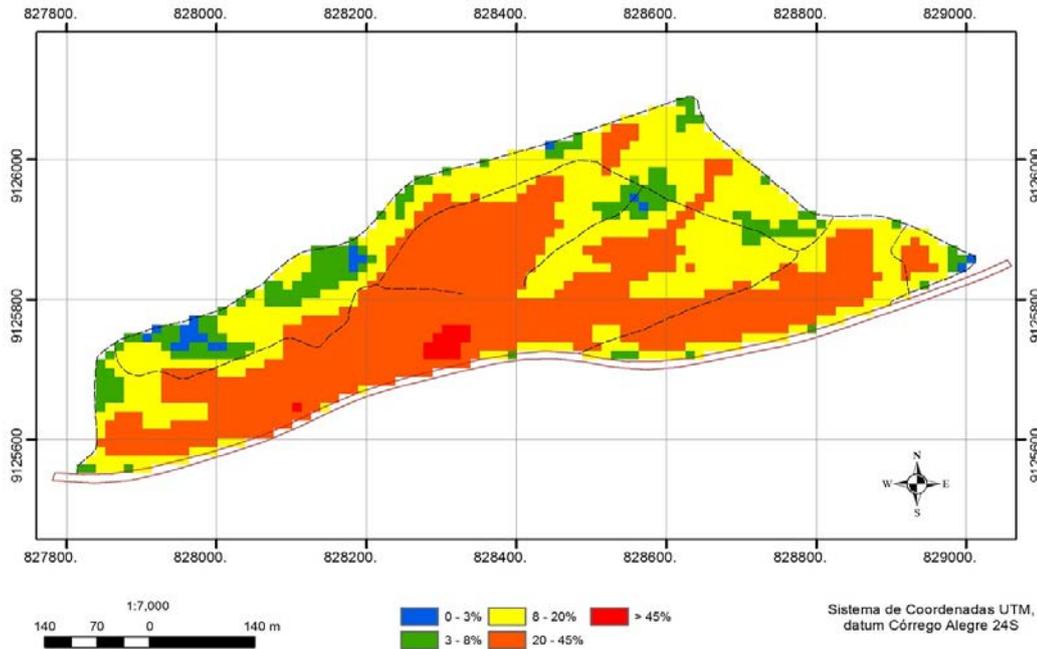


Figura 7. Mapa da declividade da área Conceição em Taquaritinga do Norte - PE

4.5. ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO

Os Brejos de Altitude ou Brejo de Taquaritinga representam áreas de exceção no contexto da Zona do Agreste. Indivíduos de algumas espécies dessas matas serranas chegam a atingir grande porte (20 m - 35 m). Através de um levantamento visual, o local do experimento apresentou as seguintes espécies florestais fazendo parte do sistema orgânico do plantio de café sombreado: Galezia gorazema Moq. - “Pau-d’alho”. Rosaceae Rubus sp. Leguminosae Inga subnuda Salzm. ex Benth. --“ingazeira”. Caesalpinia leiostachya (Benth.) Ducke - “pau ferro”. Copaifera trapezifolia Hayne - “pau d’óleo”. Proteaceae Roupala cearaensis Sleumer. - “Lacre”. Meliaceae Cedrela sp. - “cedro”. Combretaceae Terminalia sp. - “mamaluco”. Araliaceae Oreopanax capitatum Decne et Planch. var. multiflorum (DC.) E. March. - “Abacate do mato”. Sapotaceae Manilkara rufula (Miq.) Lam. - “maçaranduba”. Apocynaceae Aspidosperma pyricollum Muell. Arg. - “pereiro brabo”. Bignoniaceae Tabebuia avellanadae Lorentz ex Griseb. - “Pau-d’arco roxo”. (Andrade, 2007).

4.6. COLETA DE AMOSTRAS DO SOLO

A área da Conceição foi visitada em duas ocasiões para definir o planejamento de coleta, que ocorreu durante cinco dias, em novembro de 2018. As diferentes declividades foram reconhecidas para se obter amostras mais representativas do local, foram divididos em três segmentos: montanhoso (45% a 75%), ondulado (8% a 20%) e suavemente ondulado (3% a

8%), de acordo com a classificação da EMBRAPA (1979), uma área de mata nativa sem a cultura do café representou a testemunha.

Em cada segmento de declividade, foram abertas quatro trincheiras, com distanciamento entre elas de 50 m, com dimensões de 1,5 m de largura x 1,5 m de comprimento x 80 cm de profundidade, em função do comprimento alcançado pelo sistema radicular do café. Foram coletadas em cada trincheira, amostras deformadas e indeformadas de solo, nas profundidades de 0–20 cm, 20–40 cm e 40–60 cm, para análises físicas e químicas, e para as determinações biológicas amostras representativas fora coletadas em cada trincheira, na profundidade de 0–5 cm (EMBRAPA, 2017).

As amostras indeformadas foram obtidas utilizando um trado amostrador, tipo Uhland, contendo um anel metálico com bordas cortantes em bixel, após a coleta, cada anel volumétrico, com as amostras indeformadas foram cuidadosamente envolvidas em plástico filme e plástico-bolha e depositadas em caixotes para transporte até os laboratórios da UFRPE.

4.6.1. Preparo das Amostras de Solo para Análises Físicas, Químicas e Biológicas em Laboratórios

As análises físicas, químicas e biológicas foram realizadas nos laboratórios de física do solo, química ambiental, e microbiologia dos cursos de pós-graduação da Universidade Federal Rural de Pernambuco. As amostras de solo, exceto as indeformadas, foram espalhadas em mesas, para serem secas ao ar, destorroadas e peneiradas para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), em seguida, acondicionadas em potes plásticos devidamente identificados. Para determinar o fator f e corrigir as massas de solo utilizadas para determinações em laboratório, as subamostras de TFSA foram pesadas e submetidas à secagem em estufa a 105°C, em seguida, foram esfriadas em um dessecador, e pesadas até atingir peso constante para determinar a terra fina seca em estufa (TFSE). O fator f foi determinado pelo resultado da relação entre TFSA/TFSE ($f = \text{TFSA}/\text{TFSE}$).

Para análise de carbono orgânico (C) e nitrogênio total (N) da matéria orgânica do solo a TFSA das amostras deformadas foram peneiradas em peneira de 150 µm mesh para serem determinados em analisador elementar, e os isótopos ^{13}C e ^{15}N , por espectrometria de massa.

As amostras indeformadas foram submetidas à toaleta para determinação da distribuição de poros (macroporos, mesoporos, microporos e criptoporos), densidade do solo e curva característica de retenção de água no solo (CCRAS), conforme metodologia da EMBRAPA (2017).

Para as análises biológicas, a TFSA da profundidade 0-5 cm, permaneceu em aclimatação, até atingir cerca de 60% a 70% da capacidade de campo (CC), para a determinação do Carbono da Biomassa Microbiana, pelo método da Irradiação-Extração e a Respirometria, também chamada de Evolução de Carbono para Dióxido de Carbono (Evolução de C – CO₂), ou Carbono Mineralizável (C Mineralizável), (de Polli, H. e Guerra, J. G. M., 1997).

4.7. ANÁLISES FÍSICAS

A densidade de partículas (DP) foi obtida pelo método do balão volumétrico (Flint; Flint, 2002) utilizando as amostras deformadas. Paralelamente, as amostras indeformadas foram utilizadas na determinação da curva característica de retenção de água no solo (CCRAS) pelos métodos da mesa de tensão e da câmara de Richards. A densidade do solo (D_s em g cm^{-3}) foi obtido pelo método do anel volumétrico (Grossman; Reinsch, 2002). Utilizando a seguinte equação:

$$D_s = M_{SS}/V_t \quad (2)$$

Onde: D_s é a densidade do solo (g cm^{-3}); M_{SS} é a massa da amostra indeformada e seca a 105°C (g) e V_t é o volume total do solo, assumido como sendo o volume do anel volumétrico ($\pi r^2 h$), expresso em cm^3 com base no peso das amostras secas e no volume do cilindro, que corresponde à massa de uma unidade de volume de solo incluindo o espaço poroso, por meio da seguinte equação:

A análise granulométrica das partículas sólidas do solo foi realizada por meio do método do densímetro proposto por Gee e Or (2002), modificado e descrito por Almeida, (2008), contido no manual da EMBRAPA (2017) através da sedimentação das partículas que compõem o solo, que após a adição do dispersante químico (NaOH a 1 mol L⁻¹) se obteve a areia total por peneiramento úmido (diâmetro da peneira 53 μm), após 24 h em repouso para sedimentação do silte realizou-se a leitura da densidade da suspensão de argila + dispersante, por meio do densímetro de Bouyoucos, o silte foi obtido por diferença.

As médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente ($p < 0,05$) entre si, pelo teste de Tukey.

Ainda segundo Almeida et al. (2017) a Porosidade Total do solo foi obtida pelo método direto, onde:

$$P_T = \{[(a - b) - (c - d)] / e\} (m^3 m^{-3}) \quad (3)$$

P_T : é a porosidade total, em $m^3 m^{-3}$; a: massa do conjunto cilindro-amostra-pano-liga (CAPL) CAPLsaturado, em kg; b: massa do conjunto CAPLseco à 105°C, em kg; c: massa do conjunto CAPLsaturado, em kg; d: massa do conjunto CAPLseco à 105°C, em kg; e: volume total da amostra, em m^3 , que é igual ao volume do cilindro

$$V_C = \pi * r^2 * h \quad (4)$$

Onde: V_C : volume do cilindro; π : 3,1415926535; h: altura do cilindro, em m.

Com os dados apresentados na análise da CCRAS, obteve-se a distribuição de tamanho de poros, calculando-se inicialmente a porosidade total do solo. Dessa maneira, a partir da saturação da amostra, foi possível determinar a porosidade total (P_T em $m^3 m^{-3}$), calculada mediante emprego da equação: $P = V_{sat} / V_t$, onde: V_{sat} é o volume de água contido nos poros do solo saturado, obtido pela diferença entre o peso do conjunto CAPLsaturado e CAPLseco à 105 °C (m^3), V_t é o volume do solo, obtido a partir do volume do anel volumétrico ($V_C = \pi r^2 h$), expresso em m^3 .

Conforme Prevedello (1996) a macroporosidade foi obtida após equilíbrio do conjunto CAPL na tensão de 1 kPa, seguindo equação:

$$Macro = V_{macro}/D_a \times V_t \quad (5)$$

V_t : peso do solo saturado - peso do solo equilibrado à 1kPa; Macro = macroporosidade, expressa em $m^3 m^{-3}$; V_{macro} é o volume de macroporos, obtido pela diferença de peso entre o solo saturado e o solo equilibrado na tensão de 1 kPa, convertendo peso em volume, pela divisão pela densidade da água (D_a) x V_t ; V_t , é o volume do solo, obtido pelo volume do anel volumétrico ($V = \pi r^2 h$), expresso em m^3 . Depois que a tensão de 1 kPa equilibrou, a mesoporosidade foi obtida em sequência, após aplicação e equilíbrio de tensão correspondente

a 6 kPa, e calculada seguindo a equação: $Meso = V_{meso} / V_t$; V_t = peso do solo equilibrado à 1kPa – peso solo equilibrado à 6 kPa / $D_a \times V_t$, onde: $Meso$ = mesoporosidade, expressa em $m^3 m^{-3}$; V_{meso} é o volume de mesoporos, obtido pela diferença entre o solo equilibrado à 1 kPa e a 6 kPa, convertendo peso em volume, pela divisão pela densidade da água (D_a); V_t , é o volume do solo, obtido pelo volume do anel volumétrico ($V = \pi r^2 h$), expresso em m^3 . A microporosidade foi obtida após subtração do peso do conjunto anel/solo equilibrados a 6 kPa e 1500 kPa, conforme equação: $Micro = V_{micro} / V_t$ = peso do solo equilibrado à 6 kPa – peso do solo equilibrado à 1500 kPa / $D_a \times V_t$, onde: $Micro$ = microporosidade, expressa em $m^3 m^{-3}$; V_{micro} é o volume de microporos, obtido pela diferença entre o solo equilibrado à 6 kPa e a 1500 kPa, convertendo peso em volume, pela divisão pela densidade da água (D_a); V_t é o volume do solo, obtido pelo volume do anel volumétrico ($V = \pi r^2 h$), expresso em m^3 . A criptoporosidade foi determinada como a diferença entre o peso do conjunto anel-solo equilibrado a 1500 kPa e o peso do conjunto anel-solo seco em estufa a 105°C por 24 horas, de acordo com a equação: $Cripto = V_{cripto} / V_t$ = peso do solo equilibrado à 1.500 kPa – peso do solo seco em estufa / $D_a \times V_t$, onde: $Cripto$ = criptoporosidade, expressa em $m^3 m^{-3}$; V_{cripto} é o volume de criptoporos, obtido pela diferença entre o peso do solo equilibrado à 1500 kPa e o peso solo seco em estufa a 105°C por 24 horas, convertendo peso em volume, pela divisão pela densidade da água (D_a); V_t , é o volume do solo, obtido pelo volume do anel volumétrico ($\pi r^2 h$), expresso em m^3 .

A Curva de Retenção de Água no Solo (CCRAS) foi determinada pelos métodos da mesa de tensão e da câmara de Richards, a distribuição do tamanho do poro foi obtida a partir da curva de retenção, usando a equação simplificada ($D_{\mu m} = 30 \Psi$), tida a partir da expressão matemática de Bouma (1991). Com a CCRAS foi ajustada pelo modelo proposto por Van Genuchten (1980), descrito na equação 1, que associa os valores de umidade obtidos no equilíbrio com os respectivos potenciais. A umidade de saturação (Θ_s) e a umidade residual (Θ_r), constantes no modelo, que foram tratadas como variáveis independentes, sendo assumidas como equivalentes à porosidade total e umidade em equilíbrio com o potencial de -1,5 Mpa, respectivamente. O parâmetro m foi considerado dependente de n , equivalendo a $1-1/n$. Na obtenção deste ajuste foi utilizado o software RETC.

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \psi)^n]^m} \quad (6)$$

Onde Θ é a umidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Θ_r é umidade do solo na tensão 1,5 MPa ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Θ_s é umidade do solo saturado ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); ψ é o potencial de água no solo (MPa); μ , m , n são parâmetros empíricos da equação, obtidos pelo ajuste do modelo.

4.8. ANÁLISES QUÍMICAS

Com objetivo de avaliar os elementos químicos adsorvidos às cargas elétricas dos coloides, foi realizada uma caracterização desse compartimento tido como de fundamental importância para avaliação da qualidade química dessas áreas. O potencial hidrogeniônico (pH) foi determinado em solução de CaCl_2 , na proporção 1:2,5.

Os cátions trocáveis alumínio (Al^{3+}), cálcio (Ca^{2+}) e o magnésio (Mg^{2+}) foram analisados e extraídos com solução de KCl na concentração de 1 mol L^{-1} , o Ca^{2+} e o Mg^{2+} foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, e o Al^{3+} trocável, ou acidez trocável, foi determinado por titulação com solução hidróxido de sódio $\text{NaOH } 0,025 \text{ mol L}^{-1}$, na presença do indicador azul de bromotimol (0,1%).

O sódio (Na^+) e o potássio (K^+) foram extraídos com solução de Mehlich⁻¹ e determinados por fotometria de emissão de chama. De posse dos valores dos cátions trocáveis foi calculada a soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%) e a saturação por alumínio (m%). Os micronutrientes - manganês (Mn), ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B) e molibdênio (Mo) - foram extraídos e determinados por espectrometria de absorção atômica. (EMBRAPA, 2017).

A acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) foi extraída com solução tamponada de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (pH 7,1-7,2) e determinada por titulação com solução $\text{NaOH } 0,025 \text{ mol L}^{-1}$, na presença do indicador fenolftaleína 10 mg L^{-1} . O teor de nitrogênio será determinado pelo método de Kjeldahl (Bremner e Mulvaney, 1982). O fósforo disponível foi extraído com solução de Mehlich⁻¹, e determinado na presença da solução ácida de molibdato de amônio diluída e de ácido ascórbico, por colorimetria utilizando comprimento de onda de 660 nm (Donagema, 2011).

Subamostras deformadas de 50g de TFSA foram duplamente peneiradas, com peneiras de 0,5 mm e 53 μm de abertura, para determinação da matéria orgânica leve (MOL) que foi obtida pela flotação em água. Todo o material retido na peneira foi lavado utilizando água

corrente até solução límpida, indicando que as frações silte e argila foram removidas da amostra. O material sólido da peneira foi transferido para copos descartáveis, que depois foram preenchidos com água até 1,0 cm abaixo da borda. Em seguida, com um bastão de vidro, agitou-se a amostra para que a MOL ficasse em suspensão na água, deixando-a em repouso por um período de 24h até suspensão límpida. Após este período de repouso foi filtrado o material em flotação com o auxílio de uma peneira 53 μm , o material recolhido foi lavado com água destilada e seco em estufa de circulação de ar forçada a 60 °C até peso constante, pesado em balança analítica de precisão e, posteriormente determinado o teor de carbono das frações.

A TFSA das amostras deformadas foi submetida à extração das frações da matéria orgânica do solo: ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (HU) pela metodologia sugerida pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas - IHSS (Swift, 1996). As frações correspondentes foram obtidas com base na solubilidade diferencial em soluções alcalinas e ácidas respectivamente.

As concentrações de carbono nas camadas distintas dos solos, fração húmica (Hum) e matéria orgânica leve (MOL) foram determinadas por oxidação via úmida com dicromato de potássio e hidróxido de sódio (Snyder e Trofymow, 1984). As concentrações de carbono lábil (Lábil) foram estimadas via oxidação por meio da solução de permanganato de potássio, KMnO_4 0.033 mol L^{-1} , (Blair et al., 1995). As concentrações de carbono foram convertidas em estoques de carbono no solo (EstC) em mg ha^{-1} para cada profundidade amostrada (Veldkamp, 1994)

4.9. ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

Para a determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO_2), incubou-se 75 g de cada amostras em potes de vidro herméticos e devidamente identificados, em cada pote com a respectiva amostra ativada (cada amostra foi borrifada com água destilada para ativação da microbiota) foi adicionado cuidadosamente um copo plástico de 50 ml, para receber a adição de 20 ml de NaOH 0,5 M medidos em pipeta volumétrica, sem seguida hermeticamente fechados e protegidos da luz, e acondicionados à temperatura ambiente por sete dias. Após decorrido o tempo necessário, os copos plásticos foram cuidadosamente retirados, cada amostra foi retirada 10 ml e transferida para um erlenmeyer, adicionado 5 ml de cloreto de bário BaCl_2 0,05 M e indicador fenofaleína 1% e titulado com ácido clorídrico HCl

0,25 M até virada do indicador. O cálculo da taxa de CO₂ da respiração do solo foi calculado pela equação:

$$\mu\text{g CO}_2.\text{g solo}^{-1}.\text{dia}^{-1} = \{[(V_b - V_{am}) \times (\text{conc. HCl}) \times 22 \times 1.000]/(\text{peso do solo seco g} \times n^\circ \text{ de dias com as amostras incubadas})\} \quad (7)$$

Onde V_b é a média dos volumes gastos nas titulações dos brancos; V_{am} é o volume gasto na titulação das amostras; Conc. HCl = 0,5 M; 22 é a massa atômica do CO₂ (44) dividido pelo número de moles de CO₂ que reagem com o NaOH (2); 1000 é o fator de conversão de unidades; n° de dias foram sete dias conforme período de incubação (Silva, E. E.; Azevedo, P. H. S.; De-Polli, H., 2007)

Na determinação do Carbono da Biomassa Microbiana, pelo método de Irradiação-Extração, houve o rompimento celular promovido pela energia eletromagnética do forno micro-ondas, que liberou os componentes intracelulares para posterior extração e quantificação do carbono. A determinação é feita pela diferença entre as quantidades de carbono da amostra irradiada e amostra não irradiada, que foram submetidas aos mesmos procedimentos. A extração foi feita com sulfato de potássio 0,5 M e a quantificação foi realizada pela titulação de uma alíquota do extrato que foi oxidada com excesso de dicromato de potássio 0,066 M em meio ácido e determinado esse excedente com sulfato ferroso amoniacal 0,03 M. Os cálculos do carbono presente na biomassa microbiana é calculada a partir da equação C Irr.:

$$NIrr. = \{[(V_b - V_{am}) \times (\text{conc. sulfato ferroso} \times 3 \times 1000 \times \text{vol. extrator})]/(\text{vol extrato} \times \text{peso do solo})\} \quad (8)$$

onde V_b é a média dos volumes gastos na titulação dos brancos; V_{am} é a média dos volumes gastos na titulação das amostras (triplicatas); conc. sulfato ferroso = 0,03 M; 3 é o resultado da relação entre o número de mols de Cr₂O₇⁻ que reagem com Fe²⁺ (1/6), multiplicando pelo número de mols de Cr₂O₇⁻ que reagem com C⁰ (3/2), multiplicado pela massa atômica do C (12); 1000 é o fator de conversão de unidades; volume do extrator é igual 80 ml, volume de K₂SO₄ 0,5 M utilizado na extração; volume extrato é igual a 10 ml, volume da alíquota do extrato titulada. O teor de carbono será:

$$Cmic = [(C_{irradiada} - C_{n\tilde{a}oirradiada})/Kc] \mu\text{g/g de C no solo} \quad (9)$$

Onde o carbono da biomassa microbiana será a diferença entre o carbono da amostra irradiada menos o carbono da amostra não irradiada/Kc, o Kc é igual a 0,33 para o método de irradiação extração carbono da biomassa microbiana do solo CBMS.

4.10. ANÁLISES ESTATÍSTICA

A pesquisa ocorreu de jun. 2017 a jun. 2019, sendo escolhido a área de experimento por se tratar de um Brejo de Altitude com plantação orgânico sombreado, com os resultados das análise foram obtidas as médias que foram submetidas a testes de normalidade e homocedasticidade avaliadas pelos testes de Shapiro-Wilk. A análise estatística dos dados obtidos consistiu em submeter ao cálculo de médias, desvio padrão e teste de Tukey a 5% de significância, usando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. ATRIBUTOS FÍSICOS

O local da pesquisa apresenta temperaturas médias anuais entre 18°C a 22°C, altitudes máximas de 860 m, relevo montanhoso, precipitações médias de 721 mm, floresta subperenifólia. Com relação à textura do solo corresponde a um Franco Argilo Arenoso, sendo classificado como um Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico típico textura média, com horizonte A proeminente.

Tabela 14. Média dos atributos físicos – granulometria e densidade do solo

Posição	Areia		Silte %		Argila		Ds g cm ⁻³	Textura
Profundidade 0-20 cm								
Topo	65,79	±2,16	7,27	±0,88	26,92	±1,36	1,29 Aa	FrArg.Ar
Encosta	68,32	±3,38	7,75	±0,41	23,91	±3,11	1,17 Aa	FrArg.Ar
Pedimento	64,49	±2,69	8,53	±0,53	26,96	±3,19	1,34 Aa	FrArg.Ar
Mata Nativa	64,45	±3,29	7,40	±0,29	28,01	±3,07	1,26 Aa	FrArg.Ar
Profundidade 20-40 cm								
Topo	65,95	±6,17	7,50	±0,51	26,53	±2,59	1,29 AB	FrArg.Ar
Encosta	65,56	±4,12	7,87	±0,85	26,55	±3,38	1,15 AB	FrArg.Ar
Pedimento	65,17	±1,63	7,40	±0,61	27,42	±1,47	1,38 Aa	FrArg.Ar
Mata Nativa	66,89	±1,12	7,43	±0,56	25,67	±1,12	1,24 AB	FrArg.Ar
Profundidade 40-60 cm								
Topo	62,30	±6,17	8,27	±1,28	29,42	±5,29	1,26 AB	FrArg.Ar
Encosta	67,63	±1,23	7,70	±0,77	24,66	±1,86	1,25 AB	FrArg.Ar
Pedimento	65,43	±0,67	7,41	±0,68	27,15	±1,10	1,42 Aa	FrArg.Ar
Mata Nativa	66,24	±6,28	7,49	±0,36	26,26	±6,37	1,18 AB	FrArg.Ar

FrArg.Ar: Franco Argilo Arenoso

Possuem maiores teores de areia 64,49%-68,32 %, em todas as profundidades, e argila variando de 23,91%-28,01%, a textura média/argilosa são adequadas para um bom desenvolvimento da planta do cafeeiro, conforme Wang et al., 2005, que afirma que solos com textura média, variam de 15% a 35% de argila, permitem uma boa drenagem e capacidade de retenção de água e índice médio de erodibilidade, além de se relacionar com outras características físicas do solo, tais como: a densidade do solo, densidade de partícula e porosidade (Brinate et al., 2008). Os valores obtidos na densidade do solo variam entre 1,15 g/cm³ e 1,42 g/cm³, indicando uma baixa compactação, alta porosidade total sem restrições para o crescimento radicular e desenvolvimento das plantas. A densidade de partícula entre 2,27 g/cm³ e 2,67 g/cm³ indicam que os constituintes minerais predominantes nos solos são: quartzo, feldspatos e silicatos de alumínio coloidais cujas densidades de partículas estão em torno 2,65 g/cm³, (Azevedo; Dalmolin, 2004).

A porosidade total não apresentou diferença significativa entre as médias nas profundidades de 0-20 cm nas três posições de relevo (Topo, Encosta, Pedimento), na Encosta da Profundidade 20-40 cm e no Topo, da profundidade 40 – 60 cm. Os valores semelhantes da porosidade total pode ser devido a que não houve interferência do manejo no local contando com uma boa atuação dos organismos na formação de poros e a densidade das raízes do café com tendência a serem mais profundas (60 – 80 cm).

Nas profundidades de 20-40 cm e de 40-60 cm, houve diferença significativa entre os tratamentos, pelo teste de Tukey (Figura 8). Os valores sem diferença significativa da porosidade total foi resultado de não existir interferência do manejo no local contando com uma boa atuação dos organismos na formação de poros e a densidade das raízes do café com tendência a ser mais profundas (60-80 cm).

Esse comportamento é compreendido pelas baixas densidades (DS e DP) apresentada em todas as coletas, que são normalmente encontradas neste tipo de sistema (Carvalho et al., 2004) e pelos altos valores de matéria orgânica, que estão relacionadas na Tabela 14.

Tabela 15. Distribuição da Porosidade Total nas profundidades

Posição Relevo	Porosidade Total cm ³ cm ⁻³		
	----- Profundidade cm -----		
	0 - 20	20 - 40	40 - 60
Topo (T)	52,11 Aa	51,63 ABa	52,84 Aa
Encosta (E)	49,12 Aa	52,31 Aa	49,93 ABa
Pedimento (P)	46,25 Aa	45,52 Ba	45,22 Ba
Mata Nativa (MN)	48,43 Aa	50,11 ABab	54,53 Ab

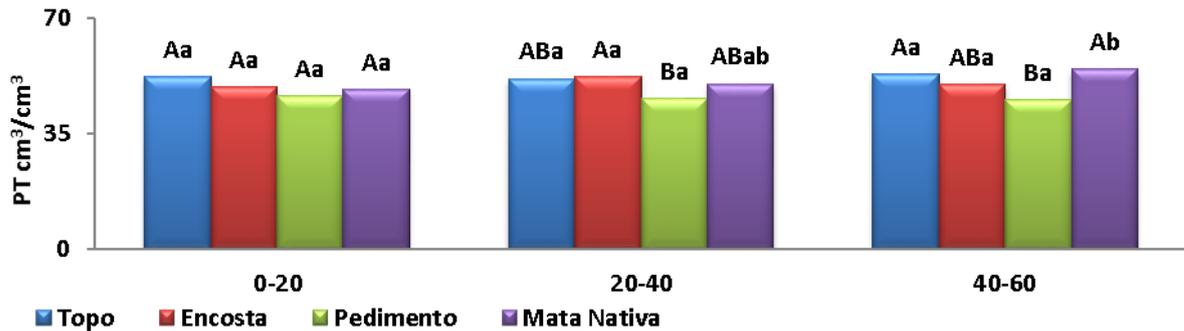


Figura 8. Gráfico Porosidade Total cm³/cm³

Segundo os valores obtidos nesse trabalho para Macroporosidade (Tabela 15) estes variaram entre 3,70 e 7,9 m³/m³, obtido com $Ma \leq 10$ cca. Considerando que a Macroporosidade é uma medida diretamente relacionada com a difusão de oxigênio no solo para as raízes, que determina a capacidade de aeração do solo, valores abaixo de 10 a 15% são restritivos para o crescimento e produtividade da maioria das culturas (Thomasson, 1978).

Os valores de macroporos obtidos no local da pesquisa apresentaram-se acima de 30% em área com drenagem e risco de erosão, indicando uma maior facilidade de penetração do sistema radicular, maior condutividade hidráulica e maior disponibilidade para as plantas. As médias dos valores dos Ma nos dois Sistemas estudados não apresentaram diferença significativa pelo teste Tukey ($p < 0,05$), com destaque a MN nas profundidades de 20-40 e 40 – 60 cm. Nas profundidades de 20-40 cm e 40 – 60 cm o menor valor ficou no P, no entanto ele se aproxima dos resultado do T e da MN, na segunda profundidade o T e da E na terceira profundidade estudada. Na terceira camada, há diferença significativa na MN com todo com maior valor na MN, e o menor no P, porém com valores próximos da E.

Tabela 16. Distribuição dos Macroporos nas profundidades estudadas

Posição Relevô	Macroporos cm ³ cm ⁻³		
	Profundidade cm		
	0 - 20	20 - 40	40 - 60
Topo (T)	7,16 Aa	9,86 Aa	7,99 Aa
Encosta (E)	6,73 Aa	4,52 Ba	5,20 Aa
Pedimento (P)	3,75 Aa	4,87 Ba	4,26 Aa
Mata Nativa (MN)	5,93 Aa	5,87 ABa	4,95 Aa

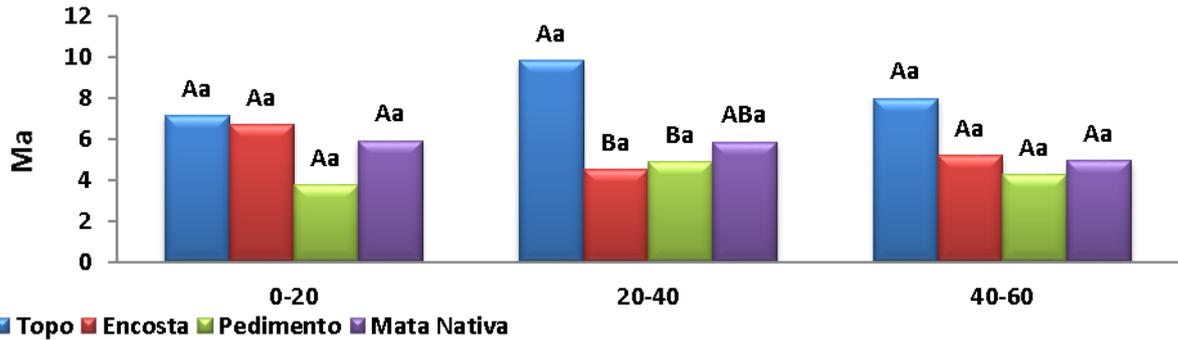


Figura 9. Gráfico da Macroporosidade nas profundidades estudadas

Para a Mesoporosidade que é o tamanho de poros responsável pela retenção da água disponível às plantas, obtido entre $10 \text{ cca} < Me \leq 60 \text{ cca}$, observou-se que os valores não apresentaram diferenças significativas nas profundidades, no entanto, na profundidade de 20-40 cm a E possui o menor valor, e o T o maior resultado. A E e o P não apresentaram diferença significativa nessa profundidade, e se aproximam aos valores da MN. Esta tendência pode ser devido ao maior teor de matéria orgânica a qual proporciona maior agregação ao solo, mantendo uma estrutura mais estável e agregados mais resistentes podendo influenciar com isso na redução da densidade do solo conforme descrito por Razafimbelo et al., (2013). Considerando que a profundidade 0 a 20 cm é a mais afetada pelos sistemas de manejo, a não diferença significativa confirma mais uma vez se tratar de uma área com cobertura florestal sem manejo e apropriada para plantio de culturas perenes.

Tabela 17. Distribuição dos Mesoporos nas profundidades estudadas

Posição Relevo	Mesoporos $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$		
	Profundidade cm		
	0 - 20	20 - 40	40 - 60
Topo (T)	10,97 Aa	10,24 Ba	13,18 Aa
Encosta (E)	11,32 Aa	15,65 Aa	13,45 Aa
Pedimento (P)	11,20 Aa	11,89 ABa	12,44 Aa
Mata Nativa (MN)	10,31 Aa	11,21 ABa	14,47 Aa

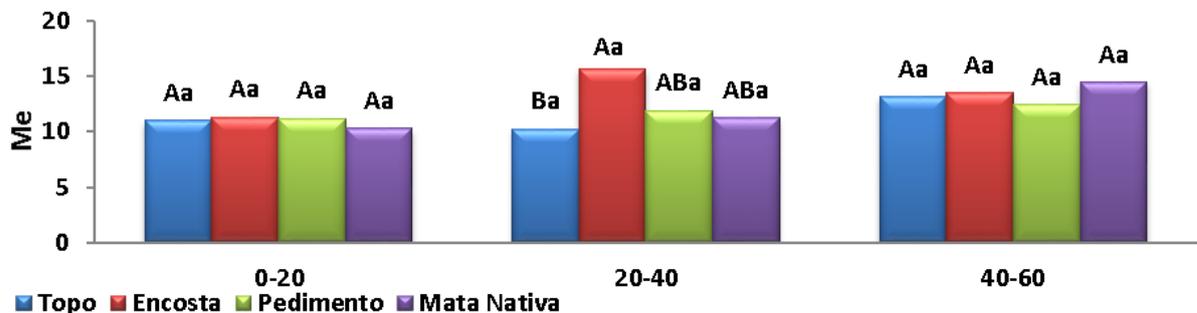


Figura 10. Gráfico da Mesoporosidade nas profundidades estudadas

Os Microporos estruturais e biológicos (MiEB), obtido entre $60 \text{ cca} < \text{MiEB} \leq 3000 \text{ cca}$ são responsáveis pelo abrigo de organismos vivos, sendo essenciais para a decomposição e ciclagem do material orgânico do solo, tendo ainda como função melhorar a aeração das raízes, condução e drenagem da água no solo. Já os poros texturais são associados a maior retenção e disponibilidade de água às plantas (Dexter et al., 2008a). Esta maior proporção de poros estruturais pode-se dever ao fato de se tratar de uma área preservada e favorecida pelo manejo agroflorestal orgânico com uma maior presença de biodiversidade de acordo com Peneireiro, 1999.

O espaço poroso textural são avaliados convencionalmente pelo estudo da curva característica de retenção de água no solo (CCRAS), obtido entre $3.000 \text{ cca} < \text{MiT} \leq 15.000 \text{ cca}$, que relaciona o conteúdo de água em função do potencial mátrico. Para o ajuste da CCRAS, Dexter et al. (2008a) propuseram o uso de uma equação duplo exponencial. Os autores aludem que a vantagem do modelo é a baixa interdependência dos parâmetros e a sua possibilidade de interpretações físicas. Deste modo, a equação permite avaliar adequadamente a natureza bimodal do espaço poroso do solo (Berisso et al., 2012; Dexter et al., 2008b; Dexter; Richard, 2009).

Tabela 18. Distribuição de MiEB e MiT nas profundidades estudadas

Posição Relevo	Microporos $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$					
	-----Profundidade-----					
	0 – 20 cm		20 – 40 cm		40 – 60 cm	
	MiEB	MiT	MiEB	MiT	MiEB	MiT
Topo	20,14 Aa	1,53 Ba	17,31	1,39 Ba	16,08 Aa	1,53 Aa
Encosta	18,68 Aa	2,43 Ba	15,15	2,25 Ba	17,83 Aa	2,02 Aa
Pedimento	14,55 Ba	6,28 Aa	13,79	6,46 Aa	14,24 Ba	4,33 Aa
Mata Nativa	11,18 Ba	2,51 Ba	11,94	1,73 Ba	12,11 Ba	1,80 Aa

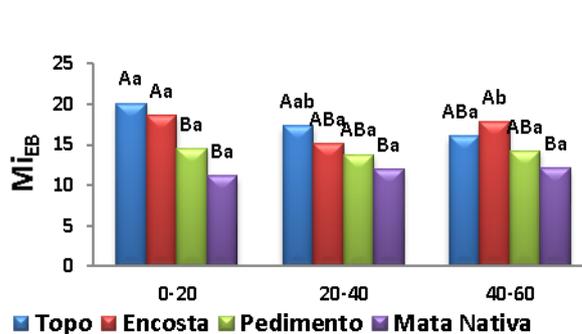


Figura 11. Gráfico do MiEB nas profundidades estudadas

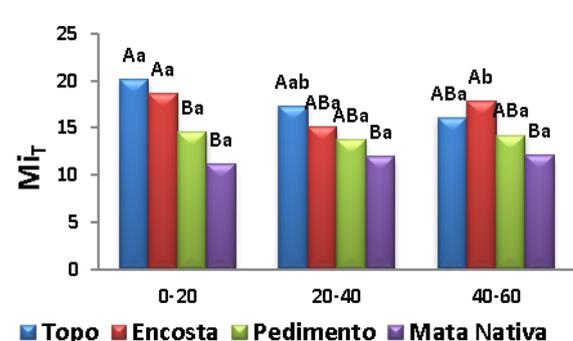


Figura 12. Gráfico do MiT nas profundidades estudadas

Os menores valores de Criptoporos na profundidade de 0-20 cm foram apresentadas na encosta e nas profundidades de 20-40 cm e 40-60 cm no pedimento. As maiores percentagens

de criptoporos estão no topo nas profundidades de 0-20 cm e 40-60 cm e na encosta de 20 - 40 cm no Sistema Agroflorestal orgânico de café sombreado. Valores ainda maiores foram encontrados nas três profundidades estudadas no Sistema de Mata Nativa. Solos argilosos possuem grande quantidade de micro agregados, dessa maneira maior quantidade de criptoporos, ou seja, a água que fica retida nesses poros não serão disponibilizados para as plantas, de acordo com Klein, 1998.

Tabela 19. Distribuição de Criptoporos em função da sua posição no relevo e profundidade

Posição Relevo	Mesoporos $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$		
	Profundidade cm		
	0 - 20	20 - 40	40 - 60
Topo (T)	12,29 Ba	12,81 BCa	14,03 Aba
Encosta (E)	9,95 Ba	14,73 ABCa	11,41 Ba
Pedimento (P)	10,45 Ba	8,49 Ca	8,94 Ba
Mata Nativa (MN)	18,49 Aa	19,34 Aa	19,24 Aa

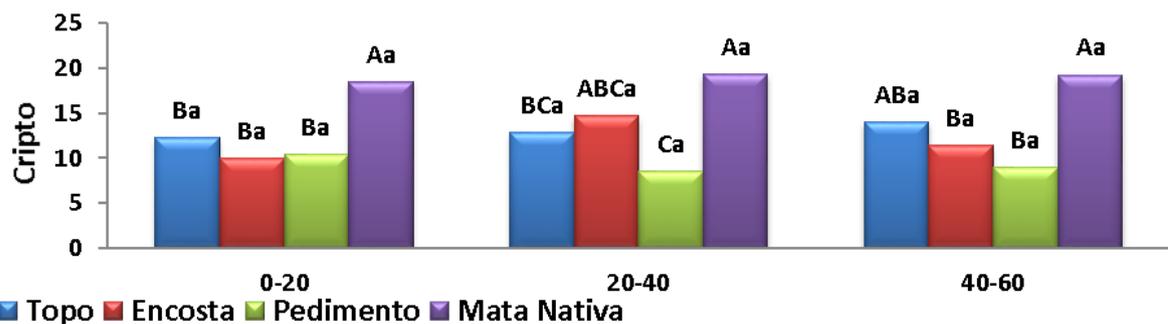


Figura 13. Gráfico do Criptoporos nas profundidades estudadas

Praticamente sem diferença significativa a CCRAS em SAOCS nas três profundidades.

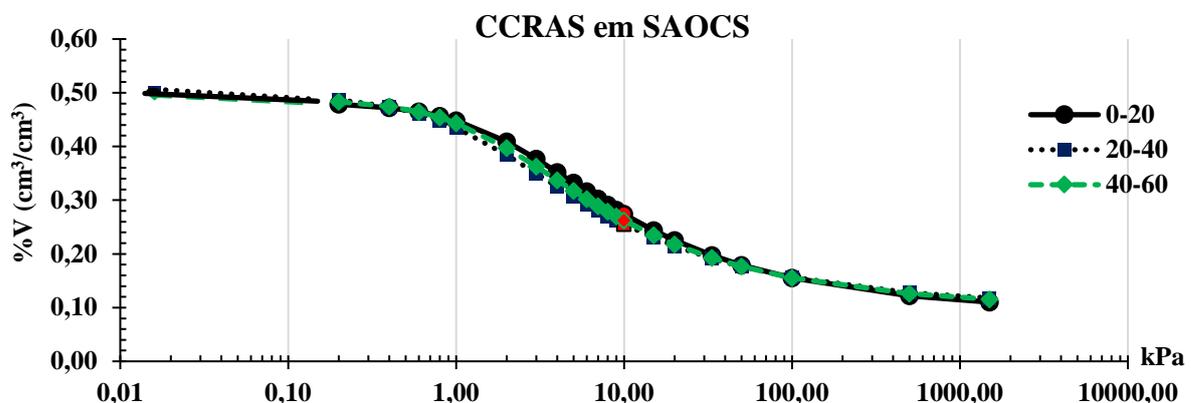


Figura 14. Curva Característica de Retenção de Água no Solo (CCRAS) em Sistema Agroflorestal Orgânico de Café Sombreado (SAOCS)

Na profundidade de 40-60 cm a CCRAS em SMNPBA obteve comportamento diferente das demais profundidades.

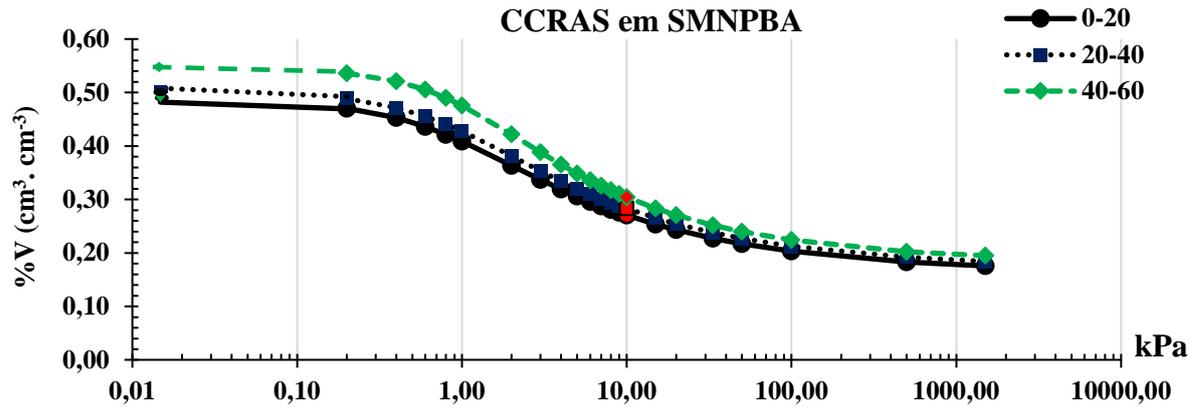


Figura 15. CCRA em SMNPBA

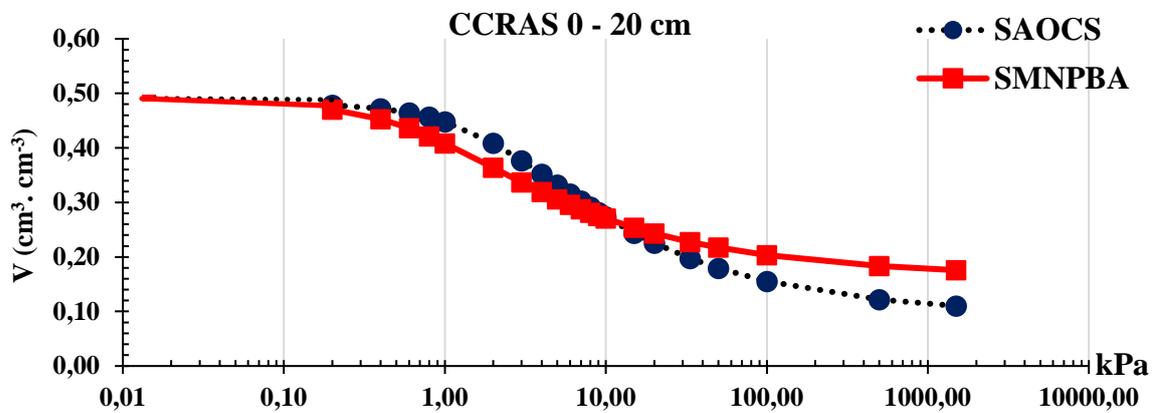


Figura 16. Comparativo das CCRAS – SAOCS e SMNPBA, na profundidade de 0-20 cm

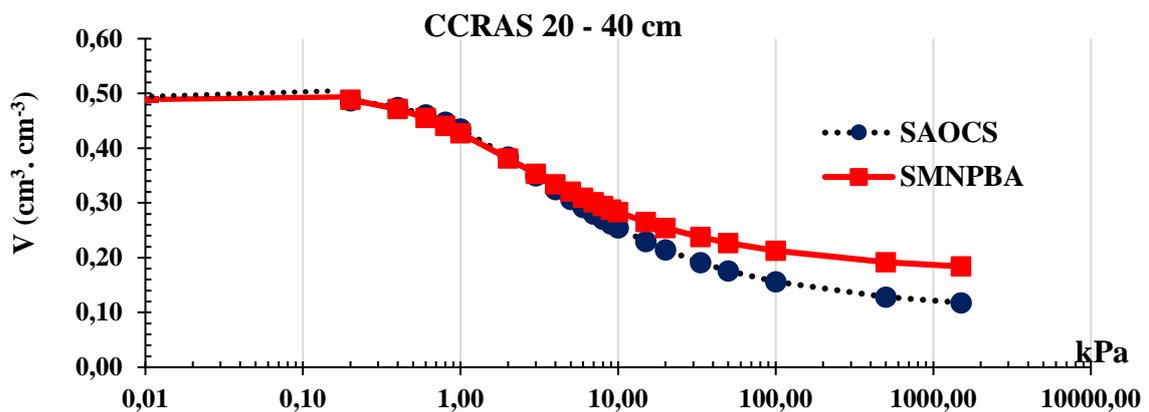


Figura 17. Comparativo das CCRAS – SAOCS e SMNPBA, na profundidade de 20-40 cm

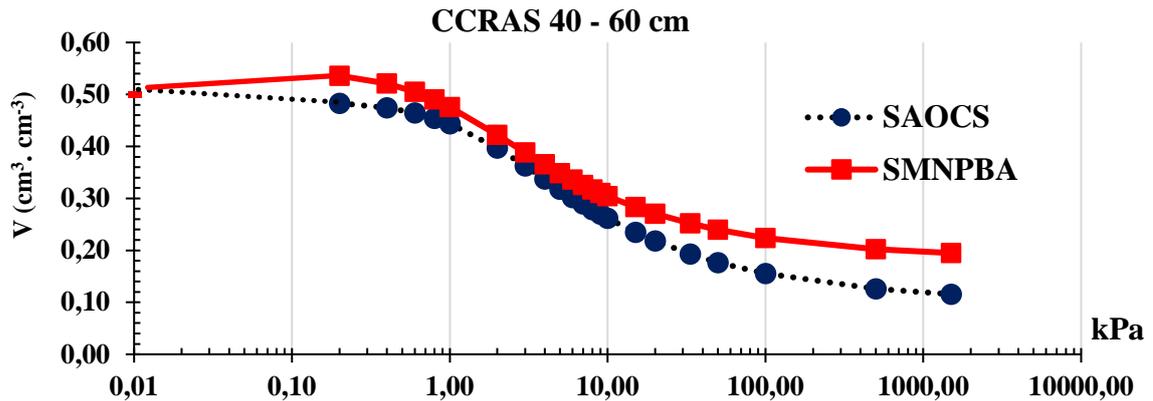


Figura 18. Comparativo das CCRAS – SAOCS e SMNPBA, na profundidade de 40-60 cm

As CCRAS no SMNPBA foram um pouco maiores do que os do SAOCS, em todas as profundidades, o que reforça a conclusão de Pezarico et al. (2013), assegurando que os SAF's apresentam índices de qualidade do solo mais próximos à área de vegetação nativa (Mata) com áreas menos antropizadas e mais estáveis, junto ao Carvalho et al., (2010) que afirmaram que o aproveitamento da matéria orgânica do solo (MOS), que melhoram os atributos físicos e químicos e sua biodiversidade, com as práticas adequadas de manejo, acumulariam C no sistema solo-planta, que atenuariam os efeitos do aquecimento global.

5.2. ATRIBUTOS QUÍMICOS

Para a avaliação da qualidade química do solo, os resultados do pH nos sistemas estudados indicou que o solo possui acidez elevada, apenas no T obteve a acidez média, de acordo com Prezotti e Guarçoni (2013), quando o pH do solo se encontra abaixo de 5,5 deve-se realizar a calagem pelo menos três meses antes do plantio, muito embora a amplitude de pH desejável para a cultura do Café, pH = 5,0 - 6,0 (Lopes, 1998). A cultura pode ser tolerante a pH mais baixo, mas a melhor disponibilização de nutrientes para a cultura encontra-se entre 5,8 a 6,2.

A quantidade de calcário a ser colocada no solo, incorporado nos primeiros 20 centímetros, depende não somente do valor do pH, mas também dos teores de matéria orgânica, de cálcio e magnésio, e do alumínio trocável (Oliveira et al., 2005). Candido et al. (2008) afirmaram que os valores de pH estão associados inversamente à presença de acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), valores menores de pH mostraram maior presença de acidez potencial, assim, os menores valores de pH e maiores valores de acidez potencial correspondem a solos com culturas consorciadas. pH a E < MN < P < T, já na acidez trocável P < T < MN < E e a acidez potencial P < T < MN < E.

Isso ocorre pela liberação de CO₂, produto da respiração radicular e a decomposição da matéria orgânica, que ao se dissolver na água forma carbonatos e libera hidrogênios que vão ocupar os sítios trocáveis dos complexos argilo-húmicos produzindo lixiviação de nutrientes e acidificação do solo (Brady; Weil, 2013). Na MNPBA os solos apresentaram valores de pH < 5 indicando que não são adequados para a cultura do cafeeiro e sua correção com a calagem torna-se difícil quando se tem culturas já implantadas, pois pode-se danificar o sistema radicular quando se quer incorporar até 20 cm de profundidade (Figueiredo et al., 2013), pelo que precisam de maior atenção na prática de calagem para corrigir o pH do solo (Ferreira et al., 2013). Com valores de pH abaixo de 5,5 tanto em SAOCS quanto em MNPBA ocorre menor disponibilidade de N, P, K, Ca, Mg, S e Mo, e aumento nos teores de Al (Figueiredo et al., 2013).

A Acidez Ativa (pH em CaCl₂) não apresentou diferença significativa entre as profundidades, no entanto, o T obteve acidez média em todas as profundidades, já a E, P e MN não apresentaram diferença significativa entre si, apenas diferiram dos resultados do T, com acidez ativa elevada, já o T com sua acidez média, porém dentro da amplitude desejável para a cultura do café de 5,0 – 6,0, que necessita de condições de acidez fraca para seu desenvolvimento com uma faixa que permite a absorção de todos os nutrientes responsáveis pela boa produção da cultura. Solos com o pH < 5,0 apresentam toxidez de alumínio, ferro e manganês, pois sua solubilidade aumenta com solos ácidos, que é um fator limitante para as plantas nesse tipo de solo, a toxidez por íons de hidrogênio afeta diretamente o crescimento das plantas, em solos com pH < 4,2 (Lopes, 1998).

A Acidez Trocável do T, E, P e MN apresentou diferença significativa. Os resultados a MN na profundidade de 40-60 cm apresentou a maior classificação em uma tendência crescente de alta nas duas primeiras camadas a muito alta na última profundidade. A E não teve diferença significativa e sua classificação é alta. O T tem uma classificação muito baixa, com decaimento na medida em que vai se aprofundando, o P na profundidade de 0-20 cm se classifica como muito baixa, e nas demais profundidades com a classificação média. A classe de interpretação para o teor de alumínio trocável é baixa no T e P, e alta na MN e na E.

A Acidez Potencial apresentou valor alto para a MN e a E, que não apresentaram diferença significativa entre as profundidades, já a classificação do T e do P é média. O T não apresentou diferença significativa entre as profundidades, o que indica que a declividade e o

maior aporte de matéria orgânica favoreceram esses resultados considerando a função da argila e da matéria orgânica nesse parâmetro.

Os resultados da Soma de Bases (SB) dos sistemas estudados se apresentam com a mesma tendência de caimento nas posições do relevo, apresentando diferenças significativas nas profundidades estudadas. No nosso experimento a SB no T foi classificada como muito boa, decaindo para boa nas duas últimas profundidades, sem diferença significativa nas duas últimas camadas. A E, P e MN receberam a classificação baixa, com a E sem diferença significativa nas profundidades, e a MN, nas duas últimas profundidades sem diferença significativa também. Estes resultados estão de acordo com Mesquita et al., 2016. O T e o P estão sendo mais favorecidos pela topossequência e pelo aporte de nutrientes provenientes da biomassa.

Tabela 20. Análise Estatística nas profundidades, Topo, Encosta, Pedimento e Mata Nativa, relacionado à sua acidez ativa, trocável, potencial e a soma de bases

Declividade (D)	0-20 cm				20-40				40-60			
	----- Acidez -----				----- Acidez -----				----- Acidez -----			
	Ativa	Trocável	Potencial	SB	Ativa	Trocável	Potencial	SB	Ativa	Trocável	Potencial	SB
	pH	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺		pH	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺		pH	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	
----- cmolc/dm ³ -----				----- cmolc/dm ³ -----				----- cmolc/dm ³ -----				
Topo	5,19 Aa	0,11 Ca	4,60 Ba	7,93 Aa	5,27 Aa	0,09 Da	4,76 Ba	5,83 Ab	5,41 Aa	0,09 Da	4,45 Ba	4,80 Ab
Encosta	4,11 Ba	1,91 Aa	7,75 Aa	1,35 Ba	4,13 Ba	1,89 Aa	7,67 Aa	1,14 Ba	4,34 Ba	1,85 Ba	7,63 Aa	0,77 Ba
Pedimento	4,23 Ba	0,08 Ca	3,85 Ca	4,00 Ca	4,17 Ba	0,63 Ca	3,57 Ca	2,86 Bab	4,24 Ba	0,62 Cb	4,24 Bb	1,34 Bb
Mata Nativa	4,12 Ba	1,32 Ba	7,41 Aa	1,94 Ca	4,18 Ba	1,48 Bb	7,59 Aa	1,52 Ba	4,06 Ba	2,37 Ab	7,51 Aa	0,88 Ba

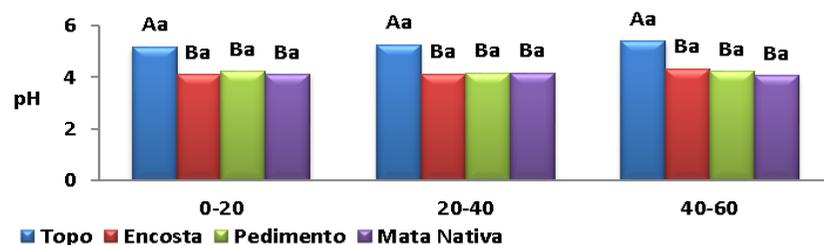


Figura 19. Acidez Ativa (pH)

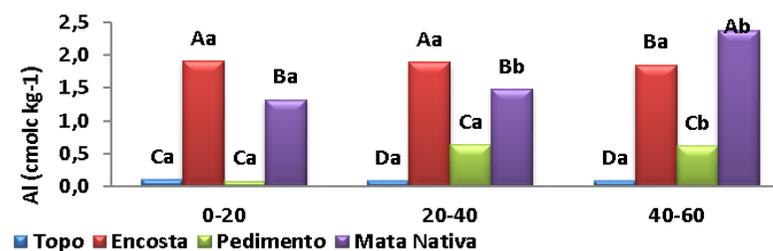
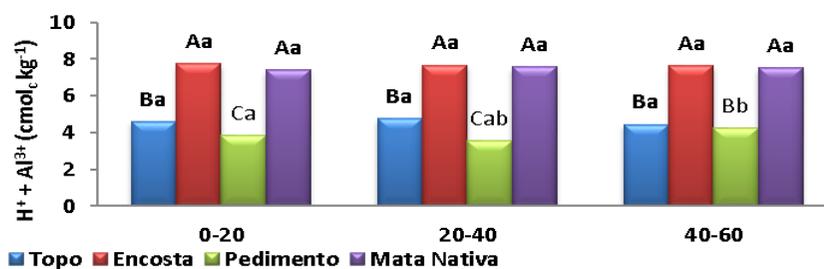
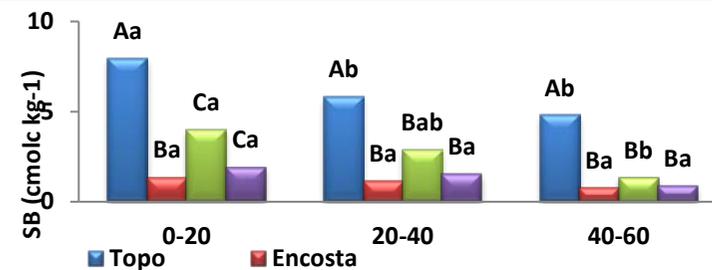
Figura 20. Acidez Trocável (Al³⁺)Figura 21. Acidez Potencial (H⁺+Al³⁺)

Figura 22. Soma de Bases (SB)

A Saturação por Alumínio (m%) se apresentou muito baixa ($m\% \leq 15,0$) no T nas três profundidades sem diferença significativa, que obteve seu menor valor na profundidade de 0-20 cm. Na E obteve classificação alta ($50,1 \leq m\% \leq 75$) nas três profundidades. Na MN obteve a classificação média (crítica $30,1 \leq m\% \leq 50,0$) em 0-20 cm e 20-40 cm e alta na profundidade de 40-60 cm. Os maiores valores na E e MN, a cultura do café podem se desenvolver em solos com alta saturação por alumínio, entretanto, o calcário pode ser necessário para corrigir as deficiências de cálcio e magnésio ou corrigir a toxidez de manganês (Lopes, 1998). Quanto maior o teor de Al trocável, menores são os teores de Ca, Mg e K, menor a soma de bases e maior a m%

A Saturação por Bases (V%) parâmetro indispensável para o cálculo da calagem e o seu conceito depende do conceito de CTC envolvido. (Lopes, 1998). Os resultados classificaram os tratamentos como muito baixo ($V\% \leq 20,0$) para a MN e a E, uma ressalva para a profundidade de 0-20 cm na MN a classificação foi baixa ($20,1 \leq V\% \leq 40$) e médio (nível crítico $40,1 \leq V\% \leq 60,0$) para T que não apresentou diferença significativa nas profundidades.

A CTC Total (T) medida à pH 7 interpreta o potencial produtivo do solo, indicando a quantidade total de cargas negativas aptas a adsorver os nutrientes, se adicionados ao solo via calagem ou adubação natural, como se apresenta o manejo adotado pela área de estudo (Prezotti e Guarçoni, 2013). Os resultados apresentaram diferença significativa, com maiores valores no T e menores no P. Foram classificados como médio no P, e bom na MN, T e E (Mesquita et al., 2016). A T possui valor constante e somente pode ser alterado com aplicação de elevadas doses de MO, ou de processo erosivo com perda da camada superficial, quanto maior a quantidade de Al^{3+} , H^+ e Na^+ no solo menor é a quantidade de cargas negativas disponíveis para reter as bases, nutrientes indispensáveis para o desenvolvimento da cultura do café. Os solos argilosos possuem elevado teor de MO, adsorvendo grande quantidade de nutrientes catiônicos (Prezotti e Guarçoni, 2013).

A CTC efetiva é a capacidade que o solo tem de reter cátions próximos ao valor do pH natural, indicando a quantidade de cargas negativas ocupadas com os cátions trocáveis, com diferença significativa, a classificação ficou no T bom, na E, P e MN médio, com classificação baixa na última camada no P.

Tabela 21. Análise Estatística nas profundidades, T, E, P e MN relacionado Saturação por Bases (m%) e Saturação por Alumínio (V%), CTC potencial e CTC efetiva

D	Profundidade cm											
	0-20				20-40				40-60			
	CTC		CTC		CTC		CTC		CTC		CTC	
m%	V%	Total	Efetiva	Total	Efetiva	Total	Efetiva	Total	Efetiva	Total	Efetiva	
		-----cmolc/kg-----		-----cmolc/kg-----		-----cmolc/kg-----		-----cmolc/kg-----		-----cmolc/kg-----		
T	1,46 Ca	63,23 Aa	12,54 Aa	8,05 Aa	1,56 Da	55,04 Aa	10,59 Ab	5,92 Ab	1,99 Ca	51,9 Aa	9,25 Ab	4,90 Ab
E	59,34 Aa	14,7 Ba	9,11 Ba	3,27 Ba	62,83 Ab	12,97 Ba	8,81 Aa	3,04 Ba	70,49 Ab	9,24 Ca	8,41 Aa	2,63 Ba
P	2,01 Ca	50,91 Aa	7,86 Ba	4,08 Ba	18,64 Cb	43,95 Aa	6,43 Bab	3,50 Ba	31,7 Bc	23,97 Bb	5,58 Bb	1,96 Bb
MN	40,46 Ba	20,74 Ba	9,36 Ba	3,26 Ba	49,17 Bb	16,63 Ba	9,11 Aa	3,00 Ba	72,87 Ac	10,55 Ca	8,39 Aa	3,26 Ba

Legenda: D-declividade; T-topo; E-encosta. P-pedimento; MN-mata nativa; m%-porcentagem de saturação por alumínio; V%-porcentagem de saturação por bases da CTC pH 7,0

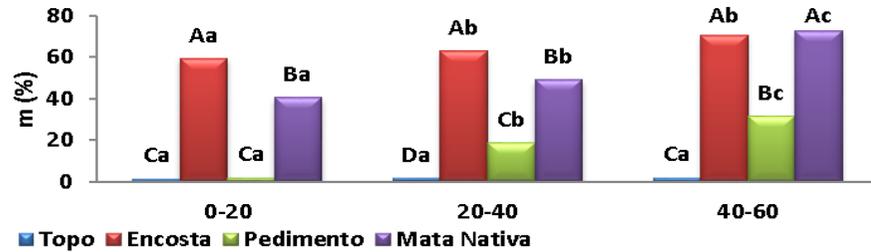


Figura 23. Saturação por AL³⁺ (m%)

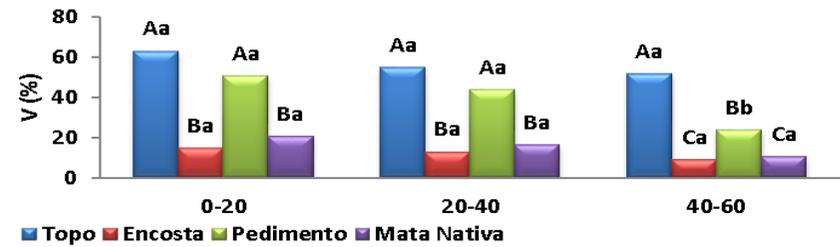


Figura 24. Saturação por bases da CTC pH 7 (V%)

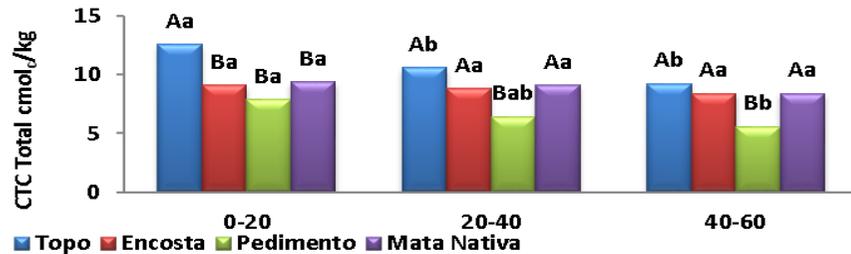


Figura 25. CTC Total

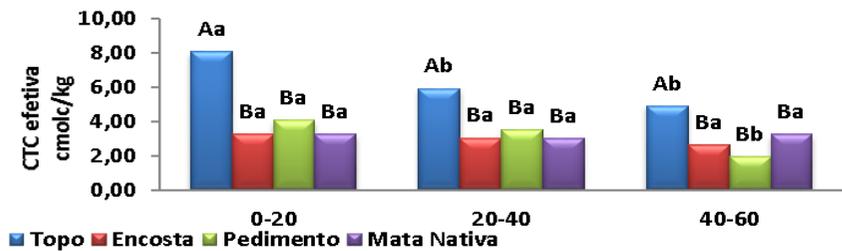


Figura 26. CTC efetiva

5.2.1. Nutrientes

Segundo Maia et al. (2008), sistemas mais conservacionistas, como os SAF's, que priorizam o aporte de resíduos orgânicos e a menor mobilização do solo, têm-se mostrado eficientes em manter e, às vezes, elevar os teores de N no solo como no caso dos sistemas estudados. Silveira et al. (2007) constataram aporte de N de 1,4 a 2,6 vezes superior na área de floresta em estágio inicial de sucessão na região de Paraty. Corrêa (2006), estudando a ciclagem de nutrientes em diferentes coberturas frutíferas e florestais de um sistema agroflorestal multiestratificado, não encontrou diferença de N entre os componentes dos SAF's, assim como neste estudo.

Os resultados com maiores e menores teores e estoque de N podem ser explicados pela composição química do material depositado, decorrente das espécies vegetais encontradas em cada sistema. Segundo Pulrolnik et al. (2009), substratos orgânicos de decomposição rápida tendem a apresentar teores mais elevados de N do que aqueles de decomposição mais lenta, responsáveis pela conservação do C no solo. Iwatta et al. (2012) observaram teores superiores de N nos SAF's em detrimento da floresta nativa e inferiores em solos de agricultura convencional em virtude de perdas da matéria orgânica nesse sistema.

Para P, os solos nos dois sistemas estudados apresentaram teores baixos para cultura perene, segundo Prezotti et al. (2007) com $P < 10 \text{ mg/dm}^3$ e sem diferença significativa, nas profundidades estudadas, valores baixos de fósforo indicam a possibilidade de uma maior extração desse nutriente com mais culturas envolvidas. Nessas condições, os sistemas estudados apresentam quantidades insuficientes de P para contribuir ao melhor desenvolvimento do café com o objetivo de aumentar a produtividade (Mesquita et al., 2016).

O K disponível é uma pequena fração, que permanece no sítio de troca ligado as cargas negativas das argilas, permanecendo livre na fase líquida, ao se intemperizar o mineral para a solução como K trocável. Apresentando diferença significativa nos resultados, com os maiores valores no T e os menores na MN.

Tabela 22. Nutrientes

D	Macronutrientes Primários									Macronutrientes Secundários					
	0-20 cm			20-40 cm			40-60 cm			0-20 cm		20-40 cm		40-60 cm	
	N g/kg	P mg/k	K cmolc/kg	N g/kg	P mg/k	K cmolc/kg	N g/kg	P mg/k	K cmolc/kg	Ca cmolc/kg	Mg cmolc/kg	Ca cmolc/kg	Mg cmolc/kg	Ca cmolc/kg	Mg cmolc/kg
T	1,31 Aa	5,13 Aa	0,36 Aa	1,21 Aa	3,67 Aa	0,31 Aa	0,9 Aa	2,28 Aa	0,23 Ab	4,62 Aa	2,75 Aa	2,91 Ab	2,66 Aa	2,41 Ab	1,69 Ab
E	1,07 Aa	5,30 Aa	0,15ABa	0,9 Aab	4,25Aab	0,12ABa	0,53 Aab	1,85Aab	0,06ABa	0,6 Ca	0,39 Ca	0,51 Ba	0,33 Ca	0,3 Ba	0,23 Ba
P	1,01 Aa	8,07 Aa	0,28 Ba	0,77 Aab	6,96 Aa	0,22 Ba	0,39 Aab	1,96 Aa	0,15Bab	1,83 Ba	1,69 Ba	1,29 Bab	0,61 Ba	1,14 Bb	0,45 Bab
MN	1,15 Aa	7,00 Aa	0,18 Ba	0,98 Aa	6,33 Aa	0,14 Ba	0,74 Aa	4,95Aa	0,06Bab	0,88BCa	0,7 Ca	0,69 Ba	0,45 Ca	0,53 Ba	0,26 Ba

Legenda: D-declividade; T-topo; E-encosta; P-pedimento; MN-mata nativa; N-nitrogênio; P-potássio; K-fósforo; Ca-cálcio; Mg-magnésio

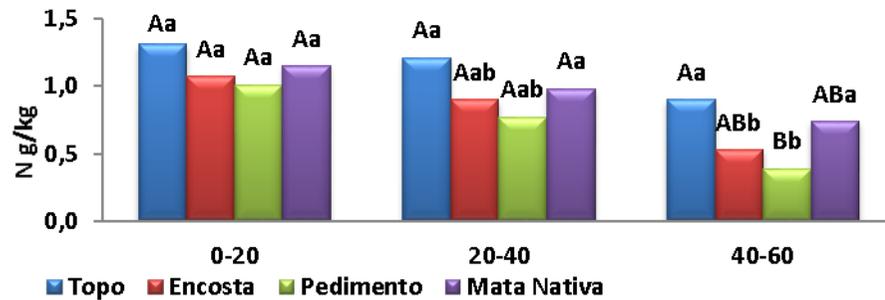


Figura 27. Gráfico do N

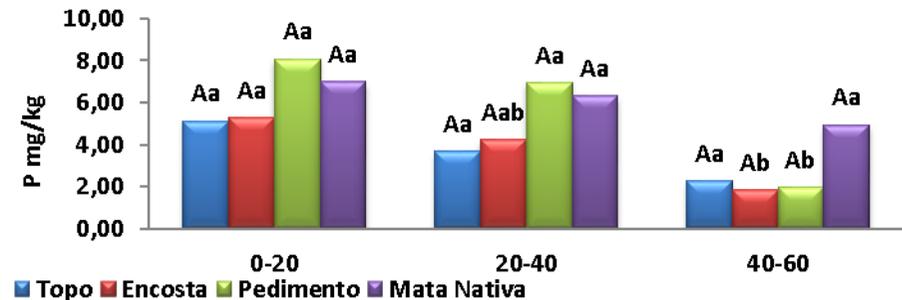


Figura 28. Gráfico do P

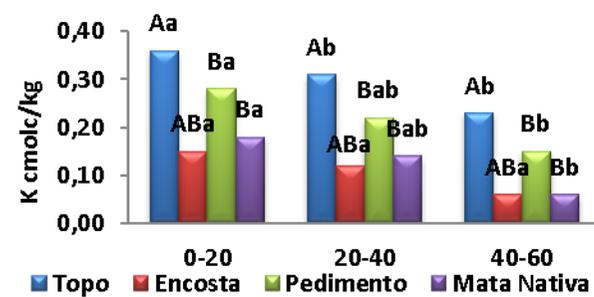


Figura 29. Gráfico do K

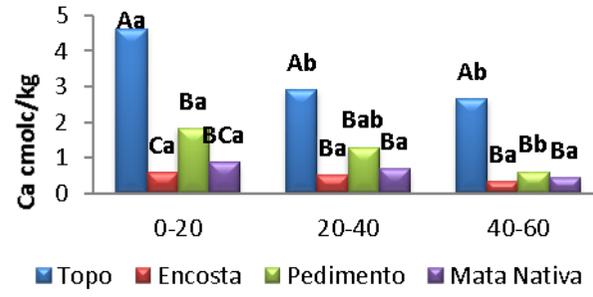


Figura 30. Gráfico do Ca

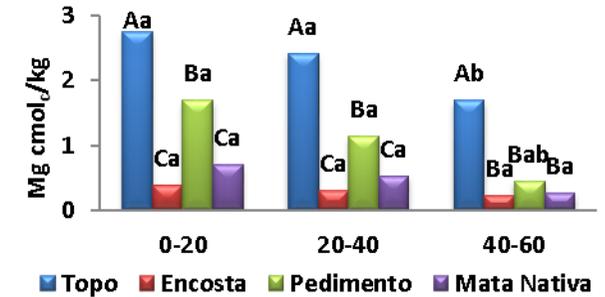


Figura 31. Gráfico do Mg

Os resultados obtidos do Ca^{2+} não apresentaram diferença significativa na profundidade 0-20 cm, com os maiores valores no T e os menores na E. A MN não obteve diferença significativa entre o P e a E. Nas profundidades de 20-40 cm o T manteve os maiores resultados sem diferença significativa com a profundidade de 40-60 cm. A E não apresentou diferença significativa nas duas últimas profundidades mantendo também os menores resultados. A MN não apresentou diferença significativa nas duas últimas profundidades.

Os resultados obtidos do Mg^{2+} no solo na forma trocável no T, E, P e MN não apresentaram diferença significativa nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, com os maiores valores no T, seguido pelo P, MN e E. Nas profundidades de 40-60 cm apresentaram diferença significativa, entre os tratamentos, no entanto, sem diferenças significativas entre o T e o P, e também entre a E e a MN.

A classe de interpretação, segundo Prezotti et al. (2007) o Ca^{2+} no T0-20 obteve classificação alta, seguida de média em T₂₀₋₄₀ e T₄₀₋₆₀, já o Mg^{2+} no T classificou como alta nas três profundidades, já na E ambos foram decaindo para uma classificação baixa, no P para o Ca obteve uma classificação média, em todas as profundidades e o Mg no P₀₋₂₀ e ₂₀₋₄₀ classificou como médio e em P₄₀₋₆₀ como baixo, já na MN o Cálcio obteve classificação baixa, em todas as profundidades e o Magnésio classificou em MN₀₋₂₀ médio, MN₂₀₋₄₀ e ₄₀₋₆₀ como baixo. Esses resultados estão diretamente relacionados aos obtidos na toposequência com maiores valores no sistema orgânico de café sombreado.

Tabela 23. Sódio e a classe de interpretação do micronutriente disponível no solo, segundo Prezotti et al. (2007)

Sódio (Na) cmol _c /kg	Profundidade cm		
	0-20	20-40	40-60
Declividade			
Topo	0,19Aa	0,19Aa	0,21Aa
Encosta	0,20Aa	0,21Aa	0,15Aa
Pedimento	0,19Aa	0,19Aa	0,12Aa
Mata Nativa	0,17Aa	0,15Aa	0,10Aa

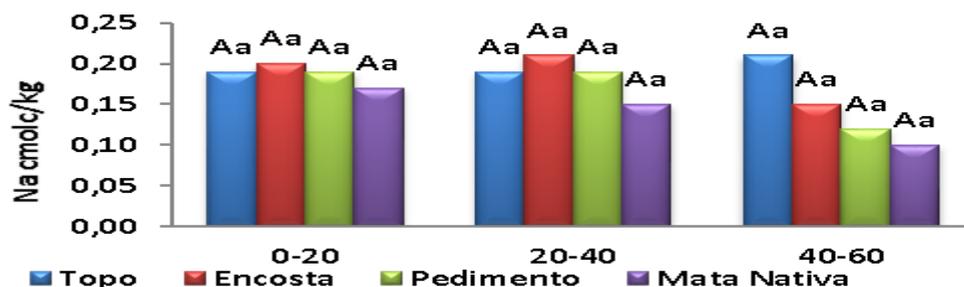


Figura 32. Gráfico da Na

O Sódio (Na) como esperado não apresentou diferença significativa entre os tratamentos e entre as profundidades, com $ISNa < 3\%$ o que não indica tendência à salinização. A concentração do elemento variou de 0,10 a 0,21 cmolc/kg, com crescimento da concentração no T e nas profundidades, e a E com maior concentração na profundidade de 20-40 cm, a MN obteve decréscimo com a profundidade, já o T se manteve nas primeiras profundidades, obtendo uma concentração menor na profundidade de 40-60 cm.

Tabela 23. Boro e a classe de interpretação do micronutriente disponível no solo, segundo Prezotti et al. (2007)

Boro mg/kg	Profundidades		
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Topo	0,51 Aa – M	0,44 Aa – M	0,32 Aa – B
Encosta	0,38 Ba – M	0,34 AB – B	0,34 Aa – B
Pedimento	0,34 Ba – B	0,31 Ba – B	0,26 Aa – B
Mata Nativa	0,35 Ba - B	0,31 Ba - B	0,28 Aa – B

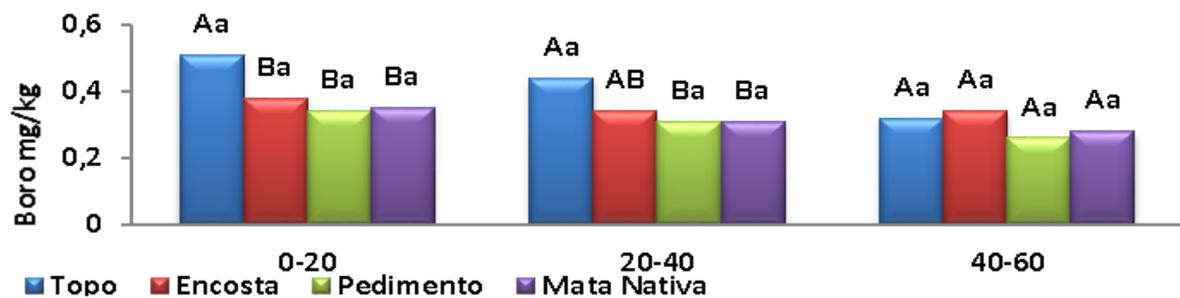


Figura 33. Gráfico do B

Legenda: D: declividade - T: topo; E: encosta; P: pedimento; MN: mata nativa.

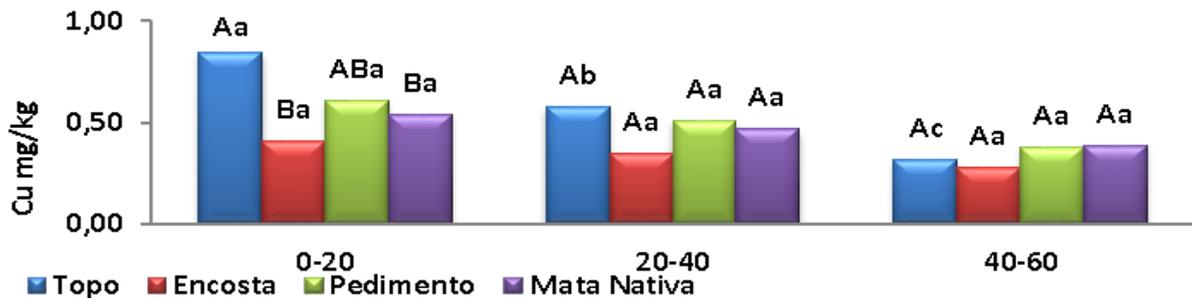
Profundidades 0-20 cm – 20-40 cm – 40-60 cm;

Classe de interpretação para micronutriente disponível no solo: B – baixo | M – médio | A – alto

O Boro no solo apresentou resultados entre 0,26–0,51 mg/kg, com a disponibilidade nutricional classificada como média (0,35 – 0,90) (Prezotti et al., 2016), segundo Guimarães, Mendes e Souza (2002) o B é encontrado na matéria orgânica, com seu teor sem diferença significativa na última profundidade em todos os tratamentos, tendo no T os maiores valores e sem diferença significativa entre as profundidades. Esse resultado indica que o micronutriente precisa ser repostado, tendo em vista que há uma competição pela diversidade de culturas que compõem o sistema agroflorestal, além das quantidades extraídas na produção de café anualmente.

Tabela 24. Cobre e a classe de interpretação do micronutriente disponível no solo, segundo Prezotti et al. (2007)

Cobre	mg/kg	Profundidades		
		0-20	20-40	40-60
Declividade				
Topo		0,85 Aa – M	0,58 Ab – B	0,32 Ac – B
Encosta		0,41 Ba – B	0,35 Aa – B	0,28 Aa – B
Pedimento		0,61 Ba – B	0,51 Aa – B	0,38 Aa – B
Mata Nativa		0,54 Ba – B	0,47 Aa – B	0,39 Aa – B

**Figura 34.** Gráfico do Cu

Legenda: D: declividade - T: topo; E: encosta; P: pedimento; MN: mata nativa.

Profundidades 0-20 cm – 20-40 cm – 40-60 cm;

Classe de interpretação para micronutriente disponível no solo: B – baixo | M – médio | A – alto

O Cobre apresentou resultados entre 0,28–0,85 mg/kg, com a disponibilidade nutricional para baixa (< 0,8), nas profundidades de 0-20 cm, no T, E e P, e baixa <0,50 mg/dm³ na E, já a disponibilidade desse nutriente nas profundidades de 20-40 cm e 40-60 cm foi baixa em todos os tratamentos. (Prezotti et al., 2007). Os baixos teores de cobre no solo sob mata nativa, ocorreram, provavelmente, devido ao maior grau de aromaticidade das substâncias húmicas da matéria orgânica do solo deste sistema, com influências na sua disponibilidade, conforme relatado por Arend (2010). O Ferro apresentou resultados entre 50,50-163,75 mg/kg, com disponibilidade alta (> 45) em todos os tratamentos e em todas as profundidades.

Tabela 25. Ferro e a classe de interpretação do micronutriente disponível no solo, segundo Prezotti et al. (2007)

Ferro	mg/kg	Profundidades		
		0-20	20-40	40-60
Declividade				
Topo		137,00 Aa - A	128,00 Aa – A	68,75 Cb – A
Encosta		163,75 Aa – A	152,50 Aa – A	111,00 Bb – A
Pedimento		81,25 Ba – A	69,50 Ba – A	50,50 Ca – A
Mata Nativa		144,75 Aa – A	137,50 Aa – A	149,00 Aa – A

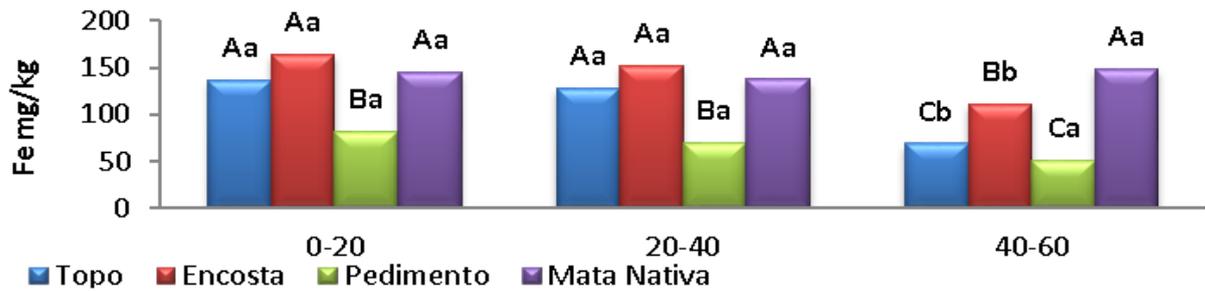


Figura 35. Gráfico do Fe

Legenda: D: declividade - T: topo; E: encosta; P: pedimento; MN: mata nativa.

Profundidades 0-20 cm – 20-40 cm – 40-60 cm;

Classe de interpretação para micronutriente disponível no solo: B – baixo | M – médio | A – alto

Tabela 26. Manganês e a classe de interpretação do micronutriente disponível no solo, segundo Prezotti et al. (2007)

Manganês	mg/kg	Profundidades		
		0-20	20-40	40-60
Topo	7,10	Aa – M	6,05 Aa – M	0,50 Ab – B
Encosta	1,68	Ba – M	1,38 Ba – B	0,65 Aa – B
Pedimento	7,88	Aa – M	6,60 Aa – M	0,87 Ab – B
Mata Nativa	3,97	ABa – B	2,97 ABa – B	1,18 Aa – B

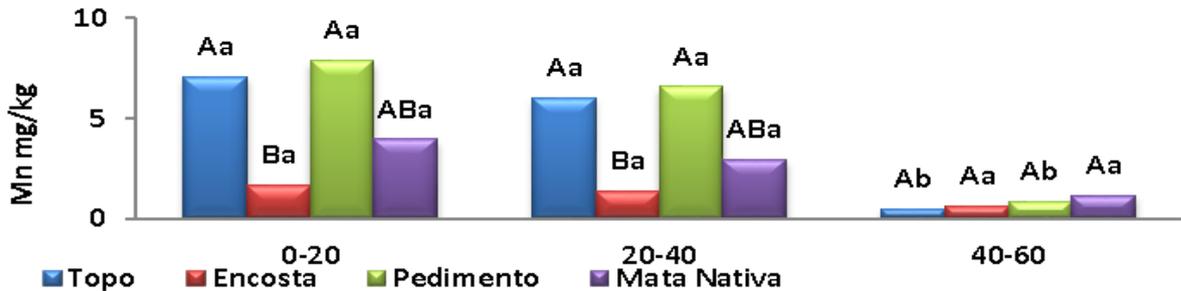


Figura 36. Gráfico do Mn

Legenda: D: declividade - T: topo; E: encosta; P: pedimento; MN: mata nativa.

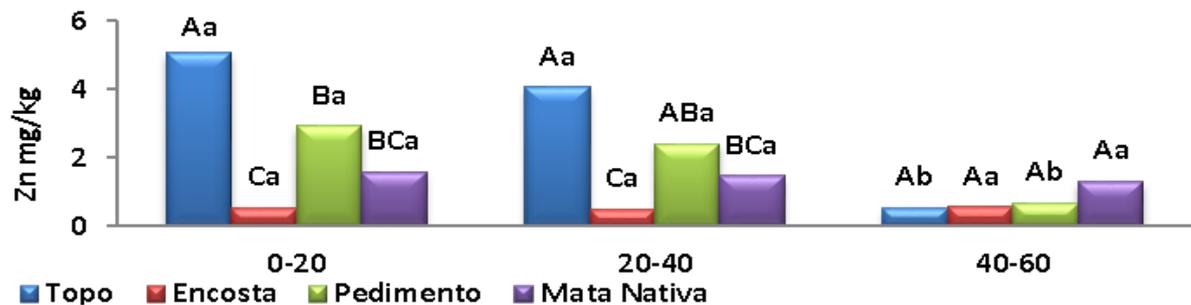
Profundidades 0-20 cm – 20-40 cm – 40-60 cm;

Classe de interpretação para micronutriente disponível no solo: B – baixo | M – médio | A – alto

O Manganês apresentou resultados entre 0,50–7,10 mg/kg, com a disponibilidade nutricional média (0,35-0,9), no T na profundidade de 0-20 cm e de 20-40, no P nas duas primeiras profundidades. A disponibilidade nutricional baixa ocorreu no T e no P na profundidade de 40-60 cm, na MN e E, em todas as profundidades (Prezotti et al., 2007).

Tabela 27. Zinco e a classe de interpretação de micronutrientes disponível no solo, segundo Prezotti et al. (2007)

Zinco Declividade	Profundidades		
	0-20	20-40	40-60
Topo	5,07 Aa – A	4,07 Aa – A	0,53 Ab – B
Encosta	0,53 Ca – B	0,50 Ca – B	0,57 Aa – B
Pedimento	2,93 Ba – A	2,41 ABa – A	0,68 Ab – B
Mata Nativa	1,59 BCa – M	1,48 BCa – M	1,30 Aa – M

**Figura 37.** Gráfico do Zn

Legenda: D: declividade - T: topo; E: encosta; P: pedimento; MN: mata nativa.

Profundidades 0-20 cm – 20-40 cm – 40-60 cm;

Classe de interpretação para micronutriente disponível no solo: B – baixo | M – médio | A – alto

O Zinco apresentou resultados entre 0,50-5,07 mg/kg, com disponibilidade alta (>2,2) nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm no T e P, disponibilidade média (0,8-1,8) na MN em todas as profundidades e baixa (<0,8) no T nas profundidades de 40-60 cm, em todas, as profundidades da E, além do T e P.

O manejo do solo pode favorecer o aumento da MOS e da atividade microbiana (Sampaio et al., 2008), e em áreas produtivas com maior diversidade vegetal favorece o desenvolvimento da biomassa microbiana aumentando o teor de C-orgânico no solo (Silva et al., 2012). A qualidade microbiológica dos sistemas, com relação aos valores das médias das variáveis estudadas, tanto em profundidade, quanto na posição do relevo não tiveram diferenças significativas. A Respirometria indica o nível da atividade microbiana pela quantificação do CO₂ liberado através das funções metabólicas dos microorganismos.

A coleta de dados realizada em novembro corresponde ao período de maior queda das folhas, em virtude do déficit hídrico, fenômeno natural que ocorre com a redução da perda de água por transpiração (Silva et al., 2007). O resultado observado nesta variável indica que esse aporte de resíduos vegetais e lenhosos estimularam a atividade dos microorganismos enriquecendo o solo (Xavier et al., 2003) por meio do aumento da biodiversidade vegetal

(Murgueitio, 2007), e conseqüentemente, maior disponibilidade de alimento para a microbiota, principal fonte de energia para a atividade desses organismos (Pinto Neto et al., 2014).

A maior deposição em períodos secos pode ser uma resposta ao maior acúmulo de matéria orgânica no Pedimento, formado por galhos e folhas que provocaram aumento na biomassa de microrganismos. Esse aumento é importante no suprimento de substrato adicional para a atividade microbiana, o que, conseqüentemente, altera a disponibilidade de nutrientes no solo. Araújo et al. (2007) constatou resultado similar na avaliação da qualidade biológica do solo de glebas em diferentes usos, verificando maiores valores de respiração basal do solo em área de pastagem plantada e pastagem natural. Não houve diferença significativa na qualidade microbiológica nos sistemas estudados, isto pode estar relacionado a não mudanças na microbiota do solo e na composição da população microbiana o que não é possível determinar pelos métodos de avaliação utilizados neste estudo (Reis Junior e Mendes, 2007).

De acordo com Roscoe et al., 2006 valores elevados de C-BMS indicam imobilização temporária dos nutrientes, o que resulta em menores perdas dos nutrientes no sistema solo-planta. Os resultados encontrados no presente estudo indicam que a maior diversificação vegetal em sistemas agrícolas estimula positivamente a biomassa microbiana, provavelmente por esses sistemas proporcionarem condições favoráveis ao seu desenvolvimento, gerando micro habitats favoráveis e sítios de refúgio, além do fato dos resíduos vegetais servirem como fonte de energia e nutrientes para os organismos do solo conforme apresentado por com Badejo et al., 2002; Merlim et al., 2005.

Tabela 28. Qualidade Microbiológica

Qualidade Microbiológica				
Profundidade 0-5 cm				
Declividade	Respirometria	CBM	qCO₂	qMic
Topo	50,98 Aa	217,09 Aa	0,23 Aa	0,83 Aa
Encosta	54,56 Aa	205,55 Aa	0,27 Aa	1,11 Aa
Pedimento	61,3 Aa	225,91 Aa	0,3 Aa	1,32 Ba
Mata Nativa	54,59 Aa	179,62 Aa	0,31 Aa	0,89 Aa

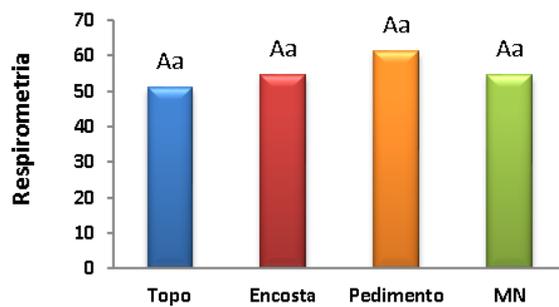


Figura 38. Respirometria

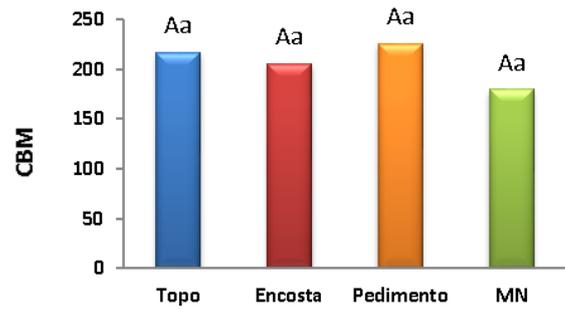


Figura 39. Carbono da biomassa microbiana

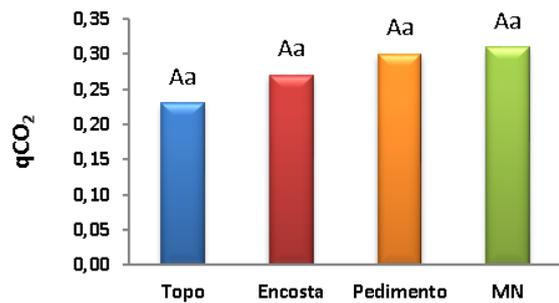


Figura 40. Quociente metabólico do solo

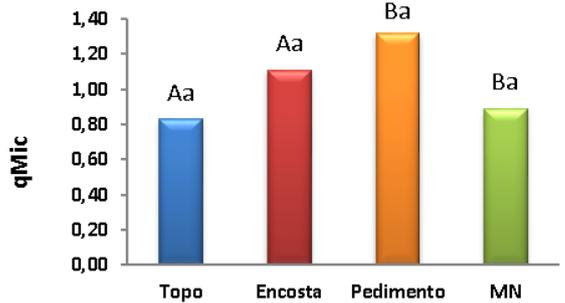


Figura 41. Quociente microbiano

Legenda: Carbono da Biomassa Microbiana (CBM), Quociente Metabólico do Solo (qCO₂) e o Quociente Microbiano (qMic)

Quanto à qualidade microbiológica não houve diferença significativa na respirometria, que da concentração Glaeser et al. (2010), avaliando os atributos microbiológicos do solo na região Centro-oeste do país não verificaram diferenças entre a vegetação nativa e o cafeeiro, menores acúmulos de qCO₂ foram encontrados nas áreas de topo e encosta na profundidade de 0-5 cm do sistema agroflorestal orgânico de café sombreado, isso pode ter ocorrido devido à grande quantidade de biomassa microbiana acumulada sob a área de pedimento.

Para a variável quociente metabólico (qCO₂) não houve diferença significativa entre os sistemas avaliados, no entanto a mata nativa obteve uma maior concentração, seguida do pedimento, encosta e topo, conforme avaliado por Glaeser et al. (2010) na região Centro-Oeste do país, que também não verificaram diferenças entre a vegetação nativa e o cafeeiro. Os menores acúmulos de qCO₂ foram encontrados nas áreas de topo e encosta nas profundidades de 0-5 cm do sistema agroflorestal orgânico de café sombreado, isto se deve pela grande quantidade de biomassa microbiana acumulada sob a área de pedimento. Quocientes metabólicos elevados de acordo com Roscoe et al., 2006 são um indicativo de comunidades microbianas com maior proporção de microrganismos ativos em relação aos inativos.

Não houve diferença significativa entre as médias no quociente microbiano a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey (Tabela 28) indicando que o quociente microbiano, não sofreu alterações. Valores de quociente microbiano inferiores a 1% indicam que existe algum fator limitante à atividade microbiana no solo (Jakelaitis et al., 2008). Se o quociente microbiano (qMIC), expressa a quantidade de carbono orgânico do solo que está imobilizado na biomassa microbiana (Duarte et al., 2014), observou-se, neste trabalho, um menor valor para o sistema agroflorestal orgânico de café sombreado no topo. Este índice, quando elevado, indica elevados valores de carbono no solo, enquanto que valores reduzidos como na posição do relevo no topo do SAFOCS e no SMNP indicam perda de carbono no solo (Mercante et al., 2004). Este quociente é influenciado de acordo com Silva et al., 2010 por diversos fatores, como o grau de estabilização do C-orgânico e o histórico de gestão do solo na área.

No que se refere ao quociente microbiano (qMIC), que expressa a quantidade de carbono orgânico do solo que está imobilizado na biomassa microbiana (Duarte et al., 2014), observou-se, neste trabalho, o menor valor para o sistema agroflorestal orgânico de café sombreado no topo. Este índice, quando elevado, indica elevados valores de carbono no solo, enquanto que valores reduzidos indicam perda de carbono no solo (Mercante et al., 2004). Este quociente é influenciado por diversos fatores, como o grau de estabilização do C-orgânico e o histórico de gestão do solo na área (Silva et al., 2010).

Os atributos do solo são influenciados pelo manejo e classe de solos precisando de estudo complementar, no sentido de se conhecer como varia a fertilidade, com a posição que o solo ocupa no relevo. Por esse motivo, o presente trabalho estuda, simultaneamente, o efeito da posição nas encostas e o uso do solo na sua fertilidade, levando-se em conta a classe textural. O carbono do solo nas profundidades de 0–20 cm. apresentou o menor valor no pedimento (17,28 g kg⁻¹) e o maior valor no topo (26,20 g kg⁻¹). A menor concentração de matéria orgânica pareceu influenciar também a CTC potencial que apresentou o menor valor nessa mesma posição (Tabela 21). Por outro lado, o carbono no solo apresentou diferença significativa nas profundidades de 0-20 cm e 40-60 cm nas três posições do relevo no sistema agroflorestal orgânico de café sombreado e mata nativa. Na profundidade de 20–40 cm não houve diferença significativa nos sistemas estudados tanto em profundidade quanto na posição do relevo. Em geral os valores médios da encosta retratam uma baixa concentração de nutrientes nessas encostas. É possível que isso ocorra pela contribuição de processos erosivos que são mais intensos nas áreas sob encostas com reduzida cobertura vegetal.

Os teores de C e N no sistema agroflorestal de café orgânico sombreado apresentam valores mais elevados no topo, diminuindo com o relevo (Tabela 22). Os maiores teores de Nitrogênio encontram-se no topo nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm. e os menores teores de nitrogênio no pedimento nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm.

O nitrogênio não teve diferença significativa na profundidade de 0 – 20 cm nos dois sistemas estudados quanto à profundidade e nas diferentes posições de relevo. Por outro lado, na profundidade de 20 - 40cm não houve diferença significativa nos sistemas estudados quanto a profundidade, porém na encosta e pedimento desta profundidade houve diferença significativa quanto a posição do relevo. Na profundidade de 40-60cm apenas no topo não houve diferença significativa sendo que na encosta e pedimento houve diferença significativa nos sistemas estudados quanto a posição do relevo. A mata nativa apresentou diferença significativa com o sistema agroflorestal orgânico de café sombreado quanto a profundidade. D`ANDREA et al. (2004) observou que não há diferença em nitrogênio total nas camadas superficiais do solo se comparado sistemas de cultivo, pastagem e cerrado nativo sobre um Latossolo Vermelho distrófico. O aporte de serapilheira ou material vegetal justificam os maiores teores de nitrogênio no topo na profundidade 0-20 cm. Pode se observar menores teores de nitrogênio na encosta e no pedimento provavelmente por causa das espécies contribuintes com nitrogênio sobre o Argissolo e também as características físicas e químicas deste tipo de solo.

A qualidade e a quantidade de carbono orgânico total (COT) são fatores importantes que afetam a dinâmica do N no solo e a sua retenção no ecossistema, sendo necessário estudá-los em conjunto para um melhor entendimento dessa dinâmica (HART et al., 1994). Com relação ao nitrogênio (N) no solo, apenas na profundidade de 0-20 cm não apresentou diferença significativa, assim como na profundidade de 20 -40 cm no topo do SAFOCS e MNPBA na profundidade 40 -60 cm no topo. O topo em todas as profundidades obteve os maiores valores de N e já nas camadas mais superficiais (0-10, 10-20 cm) a MTN apresentou os maiores teores de NT.

A maior relação C/N foi encontrada no sistema de Mata Nativa na profundidade de 40-60 cm e a menor no relevo do pedimento na profundidade 0 – 20 cm isto se deve provavelmente pela maior drenagem existente, podendo ser explicado pela topografia do terreno, proximidade do lençol de água e até mesmo pelas espécies vegetais que contribuem com carbono e nitrogênio para o solo.

Tabela 29. Resultados do Carbono e Nitrogênio

Relevo	--- 20-40 cm ---		--- 40-60 cm ---		--- 40-60 cm ---	
	C	N	C	N	C	N
T	26,20 Aa	1,31 Aa	22,32 Aa	1,21 Aa	14,43 AB	0,9 Aa
E	18,48 AB	1,07 Aa	16,55Aa	0,9 Aab	11,79 AB	0,53 Abb
P	17,28 Ba	1,01 Aa	14,44 Aa	0,77 Aab	6,79 Bb	0,39 Bb
MN	20,09 AB	1,15 Aa	18,69 Aa	0,98 Aa	17,85 Aa	0,74 Aba

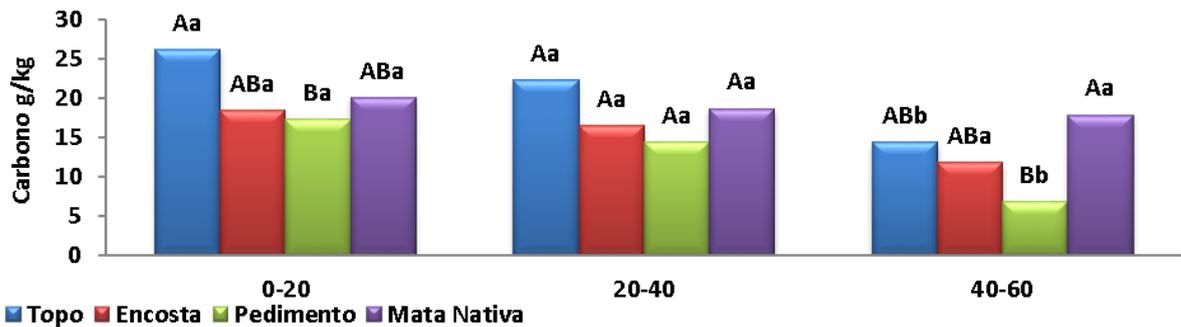


Figura 42. Gráfico do C

Há um decaimento do Carbono em todos os declives e em todas as profundidades, com variação de 6,79 g/kg a 26,20 g/kg, sem diferença significativa no topo, na profundidade de 0-20 cm e 20-40 cm, e na mata nativa nas profundidades de 20-40 cm e 40-60 cm.

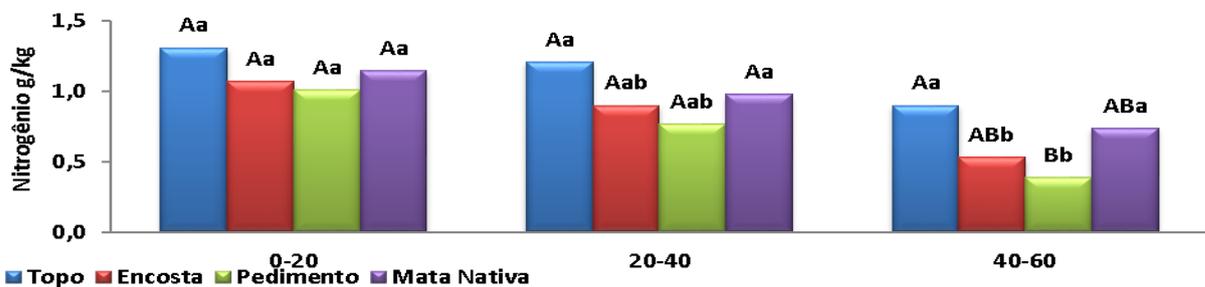


Figura 43. Gráfico do N

Quanto ao nitrogênio não há diferença significativa na camada de 0-20 cm em todas as declividades, e no topo não diferença significativa entre todas as profundidades. A concentração variando de 0,39 g/kg a 1,31 g/kg. Há diferença significativa em todas as declividades na profundidade de 40-60 cm. Há um caimento decrescente da concentração em todas as declividades e em todas as profundidades.

A relação C/N está relacionada ao grau de decomposição da MO no solo que regula a mineralização/imobilização, portanto é uma aproximação da relação energia (E)/N que indica a direção das reações (Cantarella, 2007). Em todas as médias das profundidades e nas posições do relevo a relação C/N seguiu a tendência natural dos teores de C e N, e estiveram abaixo de

24,27 g/kg, indícios que segundo Moreira e Siqueira (2002) houve também processo de mineralização na profundidade 40-60 cm na mata nativa, razão pela qual favorece a decomposição e disponibilidade de nutrientes para o solo. Para valores da relação C/N na faixa de 20 a 30, a mineralização e a imobilização tendem a ser iguais, quando este valor aumenta predomina-se a imobilização e, quando se estreita, a mineralização passa a ser maior do que a imobilização até que a atividade microbiana diminui, chegando em valores de C/N próximos a 10, que indicam estabilidade da matéria orgânica (Cantarella, 2007). A maior relação C/N foi encontrada no sistema de Mata Nativa na profundidade de 40-60 cm e a menor no relevo do P na profundidade 0 – 20 cm isto se deve provavelmente pela maior drenagem existente, podendo ser explicado pela topografia do terreno, proximidade do lençol de água e até mesmo pelas espécies vegetais que contribuem com carbono e nitrogênio para o solo.

Tabela 30. Relação entre Carbono e Nitrogênio

Relevo	Relação CN		
	0-20	20-40	40-60
T	20,3 Aa	18,65 AB	15,9 Bb
E	17,25 Ab	18,28 AB	22,09 Aa
P	17,09 Aa	18,91 Aa	17,37 Ba
MN	17,48 Ab	19,15 AB	24,27 Aa

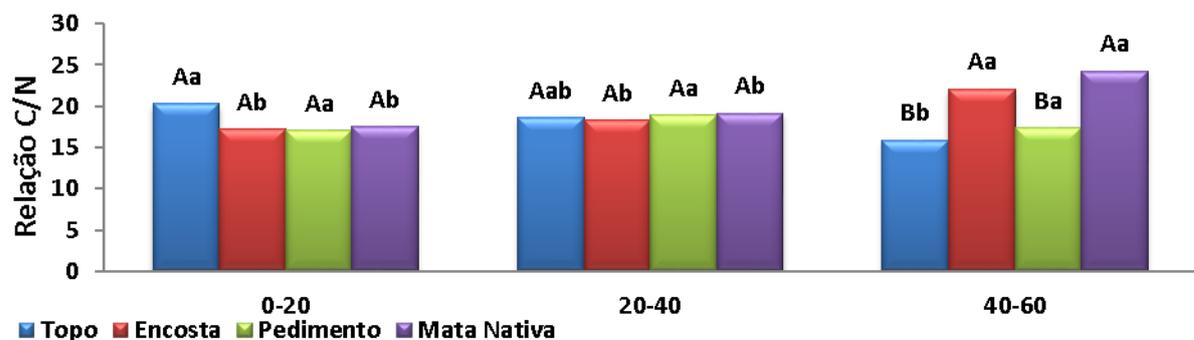


Figura 44. Relação C/N

Tabela 31. Estoque de Carbono

Relevo	Estoque Carbono (g kg ⁻¹)		
	0-20	20-40	40-60
Topo	21,22 Aa	18,26 Aa	11,73 Aa
Encosta	13,45 Aa	11,76 Aa	9,23 Aa
Pedimento	17,66 Aa	15,42 Aa	7,00 Aa
Mata Nativa	12,74 Aa	11,66 Aa	10,6 Aa

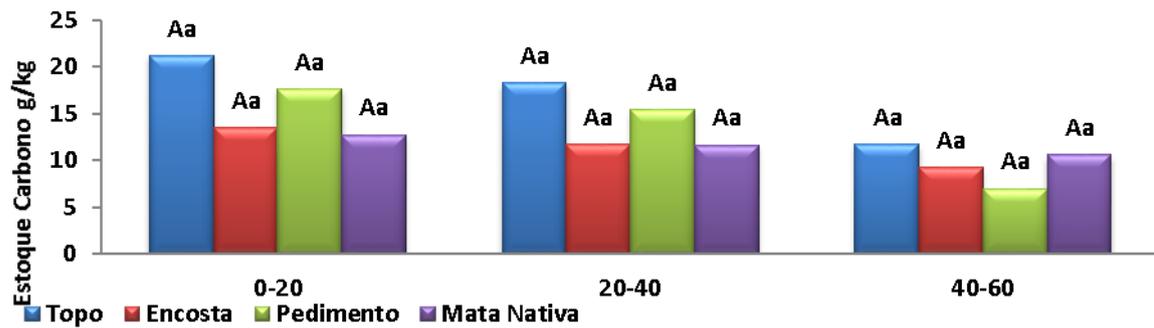


Figura 45. Gráfico de Estoque de Carbono

O estoque de C no solo foi maior para o topo na profundidade de 0–20 cm, porém sem diferença significativa entre as profundidades e os tratamentos. Estes valores estão associados à elevada densidade do solo e teor de C no relevo topo nas três profundidades. Nas camadas mais profundas o estoque de C contribui de forma mais estável para o acúmulo deste no solo, o que pode ser explicado pelo menor efeito dos fatores climáticos, por fatores inerentes do resíduo, e pela menor chance de perturbação do solo. Fato que se explica pela produção e deposição de material vegetal na superfície do solo em maior quantidade e durante mais tempo naquela floresta. A queda da serrapilheira já foi discutido por Reis et al. (1994), pois somente se estabiliza quando o povoamento atinge a maturidade. Portanto, no início do estabelecimento de florestas naturais e plantações florestais, a produção de serrapilheira é baixa, aumentando com a idade, podendo posteriormente ocorrer redução.

Os resultados das análises indicam que não há diferença significativa do Est. Carbono, em relação a declividade, e a profundidade, com a quantidade de carbono semelhante a MNPBA maiores e menores valores de carbono indicam a presença de agentes complexantes em sua constituição por ter maior teor de argila, e maior poder de conservação e estabilização da MO.

Tabela 32. Resultados Estoque de Carbono Fracionamento – Ácido Fúlvico

Posição relevo	Estoque do Carbono Fracionamento Ácido Fúlvico g/kg		
	-----Profundidade cm-----		
	0-20	20-40	40-60
Topo	2,33 Aa	2,00 Aa	1,29 Aa
Encosta	1,48 Aa	1,29 Aa	1,01 Aa
Pedimento	1,94 Aa	1,69 Aa	0,77 Aa
Mata Nativa	1,73 Aa	1,60 Aa	1,45 Aa

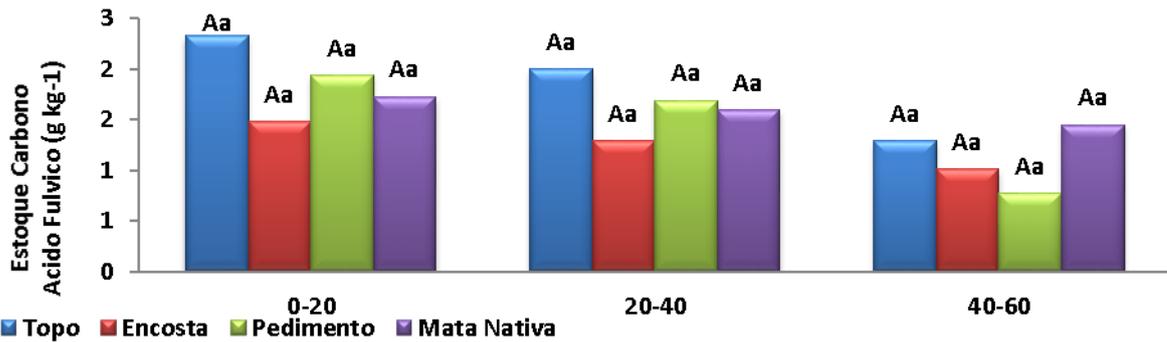


Figura 46. Estoque de Carbono – Ácido Fúlvico

Observaram-se os maiores teores de estoques da fração de carbono ácido fúlvico no topo na profundidade de 0–20 cm e os menores teores de estoques da fração de carbono ácido fúlvico no pedimento na profundidade 40–60 cm seguindo a mesma tendência do estoque de carbono (g/kg) em sistemas agroflorestal de a incorporação dos resíduos culturais promove intenso processo biológico nas camadas superficiais do solo, de forma que haja uma grande e constante quantidade de carbono facilmente decomponível, influenciando diretamente na dinâmica do sistema, inclusive na complexação de alumínio e na disponibilidade de nutrientes. Com a atividade microbiana mais equilibrada, os processos de ressíntese das substâncias húmicas são favorecidos, aumentando seus teores, especialmente C-FAF e C-FAH.

Tabela 33. Resultados Estoque de Carbono Fracionamento – Ácido Húmico

Posição relevo	Estoque de Carbono Ácido Húmico g/kg		
	-----Profundidade cm-----		
	0-20	20-40	40-60
Topo	4,03 Aa	3,47 Aa	2,22 Aa
Encosta	2,55 Aa	2,23 Aa	1,75 Aa
Pedimento	3,35 Aa	2,93 Aa	1,33 Aa
Mata Nativa	3,00 Aa	2,77 Aa	2,51 Aa

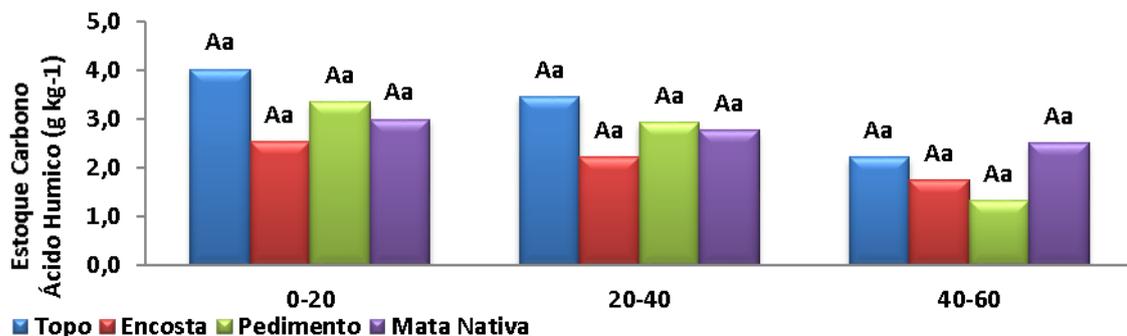


Figura 47. Estoque de Carbono Ácido Húmico

As substâncias húmicas interferem no metabolismo das plantas, no crescimento, no padrão de formação e diferenciação dos órgãos vegetais que são etapas do desenvolvimento vegetal (Canellas et al., 2005), através de sua alta capacidade de troca catiônica e da propriedade de complexar, disponibiliza cátions às plantas, principalmente micronutrientes. Esta ação estimulante é atribuída, geralmente aos efeitos diretos dos hormônios vegetais (auxina) ou do comportamento hormonal dos vegetais (Chen; Nobili; Aviad, 1990; Boyhan et al., 2001), que podem ser estimulados em presença de ácidos húmicos, resultando em crescimento do sistema radicular das plantas (Trevisan et al., 2010). Para a toxicidade promovida pelo alumínio em solos ácido, pois inibe do crescimento radicular, sabe-se que 50 % dos solos aráveis são ácidos (Von Uexküll; Mutert, 1995; Samac; Tesfaye, 2003). Os melhores efeitos dos ácidos húmicos e fúlvicos na planta ocorrem nas raízes, seja pelo aumento das ramificações laterais, ou pelo incremento de sua biomassa, a presença dos ácidos húmicos no solo estimula a síntese da auxina, que expande e alonga as células, promovendo o crescimento das raízes (Canellas et al., 2005). nas posições mais elevadas do relevo estabiliza e protege grande parte do C orgânico da mineralização (Volkoff et al., 1984; Canellas et al., 2000).

Os valores maiores de estoque de carbono ácido húmico pode ser explicado de acordo com Leite et al. (2013) de que em florestas naturais, sem perturbação do solo, há maior polimerização de compostos húmicos, aumentando a proporção dos ácidos húmicos em relação a ácidos fúlvico. Além disso, o maior acúmulo de matéria orgânica do solo nesses sistemas pode contribuir para o aumento dos estoques de ácidos húmicos, por meio de processo de herança de compostos da matéria orgânica fresca, de modo semelhante ao que ocorreria com a humina herdada, particularmente, da lignina (Stevenson, 1994).

Os resultados das análises indicam que não há diferença significativa do Estoque de Carbono, em relação a declividade, e a profundidade, com a quantidade de carbono semelhante a mata nativa do Brejo de Altitude. Observaram-se os maiores teores de estoques da fração de carbono ácido fúlvico no topo na profundidade de 0–20 cm. e os menores teores de estoques da fração de carbono ácido fúlvico no pedimento na profundidade 40-60cm seguindo a mesma tendência do estoque de carbono (g/kg) em sistemas agroflorestal de a -incorporação dos resíduos culturais promove intenso processo biológico nas camadas superficiais do solo, de forma que haja uma grande e constante quantidade de carbono facilmente decomponível, influenciando diretamente na dinâmica do sistema, inclusive na complexação de alumínio e na disponibilidade de nutrientes. Com a atividade microbiana mais equilibrada, os processos de

fotossíntese das substâncias húmicas são favorecidos, aumentando seus teores, especialmente C-FAF e C-FAH.

Tabela 34. Resultados Estoque de Carbono Fracionamento - Humina

Posição relevo	Estoque de Carbono Humina g/kg		
	-----Profundidade cm-----		
	0-20	20-40	40-60
Topo	9,34 Aa	8,03 Aa	5,16 Aa
Encosta	5,92 Aa	5,17 Aa	4,06 Aa
Pedimento	7,77 Aa	6,78 Aa	3,08 Aa
Mata Nativa	6,95 Aa	6,43 Aa	5,82 Aa

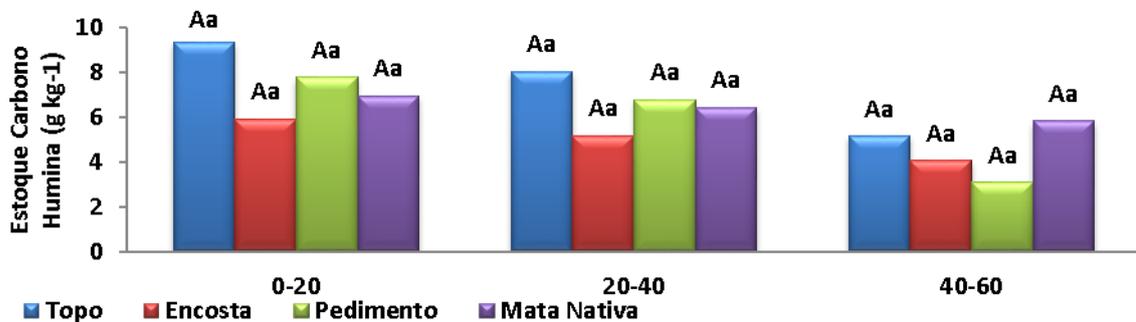


Figura 48. Estoque de Carbono - Humina

O estoque de carbono lábil é aquele carbono constituinte de compostos orgânicos mais facilmente mineralizados pelos microrganismos do solo. Em termos práticos, este é considerado o carbono oxidável com uma solução de permanganato de potássio, visto que este se correlaciona com o carbono oxidado pelos microrganismos do solo. Este é importante também para a estabilidade de agregados (Schimiguel, 2014). Apresentando perda pode atingir não somente os microrganismos mais também na parte física do solo. Nas profundidades estudadas, o estoque de carbono lábil (g/kg) não apresentou diferenças significativas ($P < 0,05$). De forma geral, observaram-se um padrão muito parecido, os estoques de carbono lábil decrescem com a profundidade e decrescem em função da sua posição no relevo (topo, encosta e pedimento), onde os maiores estoques de carbono lábil encontraram-se nas camadas mais superficiais. Os maiores teores de carbono lábil na mata nativa devem-se à maior manutenção serapilheira, o que proporciona decomposição lenta do material vegetal depositado sobre o solo. Teores com valores semelhantes de carbono lábil foram obtidos por Leite et al., 2013 no estudo da qualidade química do solo e dinâmica de carbono sob monocultivo e consórcio de macaúba e pastagem. Os maiores teores de C em frações mais lábeis observados nas áreas nativas, estão diretamente associados ao maior aporte de resíduos vegetais (parte aérea e raízes), à diminuição da taxa de decomposição da matéria orgânica do solo (Leite et al., 2003; Vieira et al., 2007) e à maior

proteção física da matéria orgânica no interior dos agregados (Muller et al., 2012). Na área objeto de estudo o argissolo vermelho amarelo eutrófico típico encontrado no Brejo de Taquaritinga, possui uma textura média/argilosa, e que variam de profundos a muito profundos e são bem estruturados e drenados, seu relevo também influência na formação de humina, o maior conteúdo de argila nas posições mais elevadas do relevo estabiliza e protege grande parte do C orgânico da mineralização (Volkoff et al., 1984; Canellas et al., 2000).

Tabela 35. Teores Estoque de Carbono Lábil de (CL) em Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico em SAOCS e SMNPBA

Posição relevo	Estoque de Carbono Lábil g/kg		
	-----Profundidade cm-----		
	0-20	20-40	40-60
Topo	1,06 Aa	0,91 Aa	0,58 Aa
Encosta	0,67 Aa	0,58 Aa	0,46 Aa
Pedimento	0,88 Aa	0,77 Aa	0,35 Aa
Mata Nativa	0,79 Aa	0,73 Aa	0,66 Aa

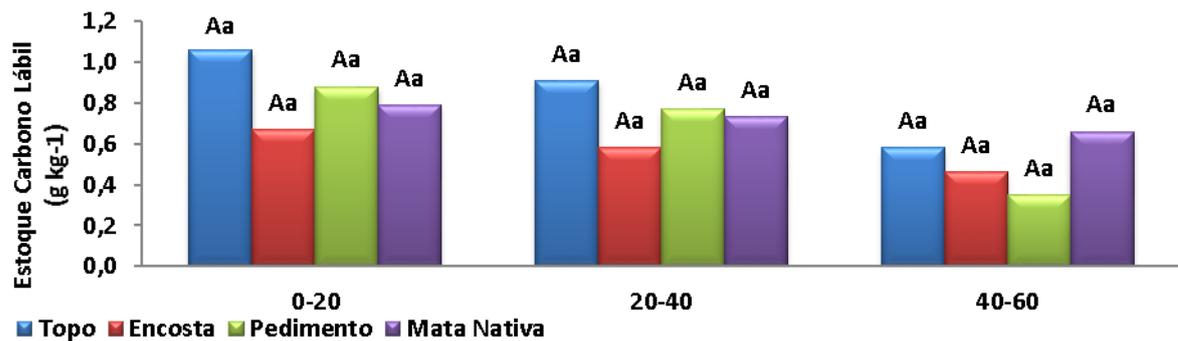
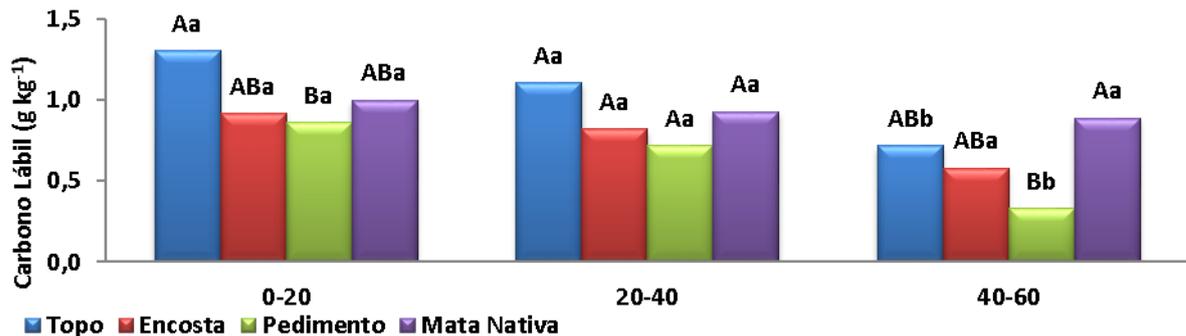


Figura 49. Estoque de Carbono Lábil

Os estoques variaram de 0,35 g/kg a 1,06 g/kg e não houve diferença significativa entre os tratamentos, nem na profundidade, nem nas declividades. Observaram-se um padrão muito parecido, os estoques de carbono lábil decrescem com a profundidade e decrescem em função da sua posição no relevo (topo, encosta e pedimento), onde os maiores estoques de carbono lábil encontraram-se nas camadas mais superficial, resultados também observados por Andrade et al. (2005). Foi observada uma maior proporção no topo e na mata nativa, para as profundidades de 0 - 20 cm, evidenciando o acúmulo de compostos orgânicos de maior estabilidade química e alto peso molecular, oriundos da decomposição e humificação da MOS, conforme destacado por Stevenson (1994).

Tabela 36. Carbono Lábil (CL) em Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico em SAOCS e SMNPBA

Posição relevo	Carbono Lábil g/kg		
	-----Profundidade cm-----		
	0-20	20-40	40-60
Topo	1,31 Aa	1,11 Aa	0,72 ABb
Encosta	0,92 ABa	0,82 Aa	0,58 ABa
Pedimento	0,86 Ba	0,72 Aa	0,33 Bb
Mata Nativa	1,00 ABa	0,93 Aa	0,89 Aa

**Figura 50.** Carbono Lábil

Os teores de MOL não foram influenciados pelos sistemas de manejo nas profundidades estudadas. Observou-se a tendência de diminuição dos conteúdos de MOL nas profundidades e nas posições do relevo estudadas (topo, encosta e pedimento). Certamente, a influência do manejo por meio do maior aporte de matéria orgânica (SAFOCS) favoreceu a maior quantidade de MOL. O acúmulo de MOL no topo, através da profundidade apresentará maior fornecimento de substrato utilizado como fonte de energia para o crescimento microbiano, o que poderá levar à liberação de nutrientes por meio da ciclagem da biomassa microbiana, além de favorecer a recuperação do equilíbrio biológico do solo e de sua qualidade (Marin, 2002).

Tabela 37. Médias dos teores de matéria orgânica leme (MOL), em Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico sob SAOCS e SMNPBA

Posição relevo	Carbono Matéria Orgânica Leve g/kg		
	-----Profundidade cm-----		
	0-20	20-40	40-60
Topo	0,78 Aa	0,66 Aa	0,43 Aa
Encosta	0,55 ABa	0,49 Aa	0,35 ABa
Pedimento	0,51 Ba	0,43 Aa	0,20 Bb
Mata Nativa	0,60 ABa	0,56 Aa	0,53 Aa

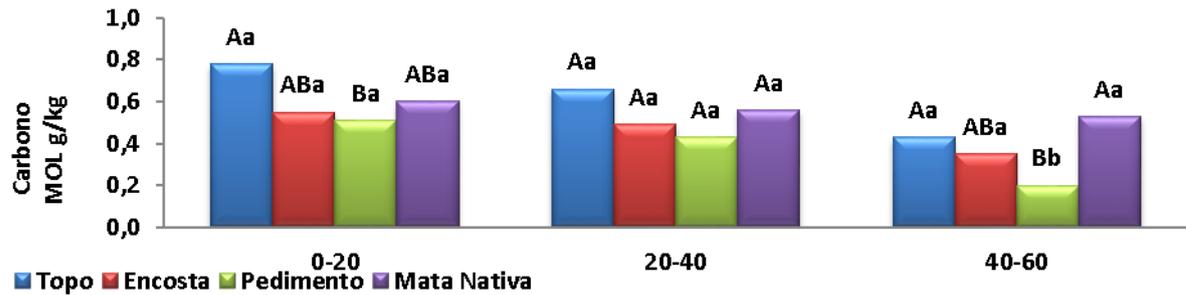


Figura 51. Carbono MOL

Com relação ao fracionamento químico, verificou-se o predomínio da fração humina (C-HU), em detrimento às frações de ácidos húmicos (C-FAH) e fúlvicos (C-FAF), que são menos estáveis e podem ser polimerizados ou mineralizados, e diminuir assim, seu teor residual no solo, já constatados por Fontana et al., (2006), e corroboram também com vários estudos em solos tropicais, como os produzidos por Conteh e Blair, 1998 e Assis et al., 2006. As huminas (Stevenson, 1994; Sparks, 2001) são substâncias altamente desenvolvidas e resistentes à degradação microbiana, fortemente combinada à fração mineral do solo, principalmente em solos oxídicos. Os elevados valores de C-HU estão relacionados ao tamanho das moléculas e ao maior grau de estabilidade desta fração.

Para C-HU a variação se deu no Topo, com valores de 11,5 g/kg na profundidade 0–20 cm, a 3,0 g/kg no Pedimento na profundidade 40-60 cm. A Mata Nativa decaiu de 8,8 g/kg a 7,9 g/kg, maiores valores de carbono na fração C-HU, na maioria das vezes implicam maior expressão das propriedades da fração coloidal da matéria orgânica, tais como: retenção da umidade, melhor agregação do solo e maior retenção de cátions, características de grande importância quando se trata do cultivo de sistemas sustentáveis de produção (Souza e Melo, 2003). Não houve diferença significativa na profundidade de 20-40 cm, nem na profundidade da MN₄₀₋₆₀, os maiores valores foram obtidos no topo e na mata nativa. A E nas profundidades de 0-20 cm e 40-60 cm, junto a MN na profundidade de 0-20 cm sem diferença significativa. A diferença estatisticamente significativa surgiu na última profundidade, principalmente no pedimento, que obteve a menor concentração.

Solos mais antropizados, principalmente com pisoteio de animais obteve uma concentração maior de C-HU, do que dos C-AF e C-AH, por possuírem matéria orgânica menos recalcitrante, e mais sensíveis às variações climáticas, químicas e microbiológicas, Essa pesquisa em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes agrossistemas na Amazônia, Martins et al. (2009) encontraram os maiores valores de C-HU no sistema

agrosilvopastoril com braquiária (*Brachiaria brizantha*), em detrimento ao sistema em que a braquiária foi utilizada como pastagem extensiva. Os autores atribuem esse padrão aos baixos níveis de lignina encontrados na gramínea a qual pode ser um dos precursores químicos para a formação da humina.

Tabela 38. Carbono Ácido Fúlvico em Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico em SAOCS e SMNPBA

Posição relevo	Carbono Ácido Fúlvico g/kg		
	-----Profundidade cm-----		
	0-20	20-40	40-60
Topo	2,88 Aa	2,45 Aa	1,58 Aa
Encosta	2,03 ABa	1,82 Aa	1,29 ABa
Pedimento	1,90 Ba	1,58 Aa	0,74 Bb
Mata Nativa	2,21 ABa	2,05 Aa	1,96 Aa

A segunda camada não apresentou diferença significativa em todas as declividades, acompanhada também pela profundidade de 40-60 cm do Topo e da Mata Nativa, muito embora há um decaimento de concentração nas profundidades em todas as declividades

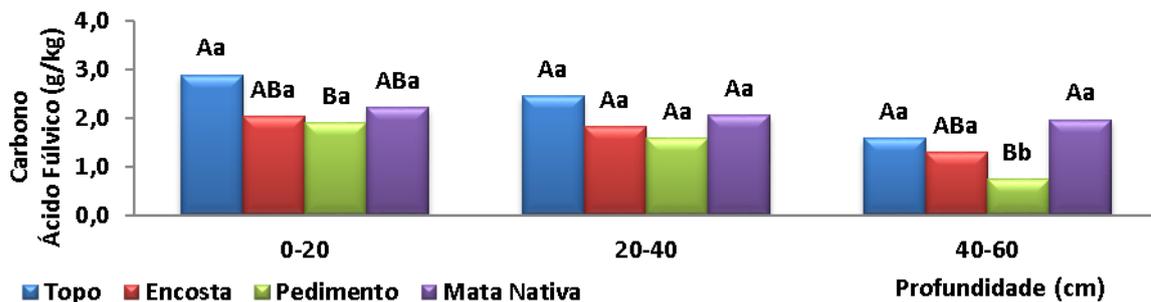


Figura 52. Carbono Ácido Fúlvico

Tabela 39. Carbono Ácido Húmico em Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico em SAOCS e SMNPBA

Posição relevo	Carbono Ácido Húmico g/kg		
	-----Profundidade cm-----		
	0-20	20-40	40-60
Topo	4,97 Aa	4,24 Aa	2,74 ABb
Encosta	3,51 ABa	3,14 Aa	2,24 ABa
Pedimento	3,28 Ba	2,74 Aa	1,29 Bb
Mata Nativa	3,81 ABa	3,55 Aa	3,39 Aa

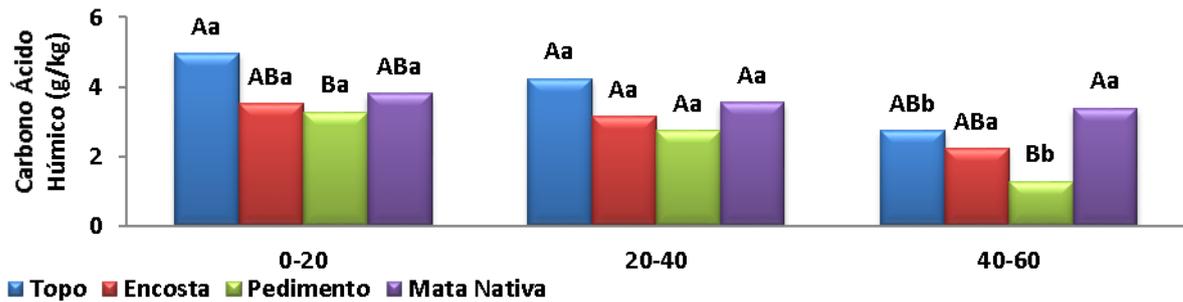


Figura 53. Carbono Ácido Húmico

Tabela 40. Carbono Humina em Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico em SAOCS e SMNPBA

Posição relevo	Carbono Humina g/kg		
	-----Profundidade cm-----		
	0-20	20-40	40-60
Topo	11,5 Aa	9,8 Aa	6,3 ABb
Encosta	8,1 ABa	7,3 Aa	5,2 ABa
Pedimento	7,6 Ba	6,4 Aa	3,0 Bb
Mata Nativa	8,8 ABa	8,2 Aa	7,9 Aa

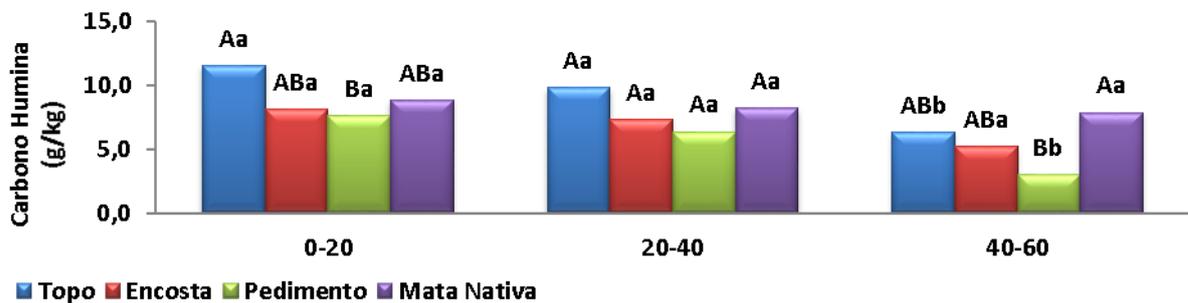


Figura 54. Carbono Humina

6. CONCLUSÃO

Os estoques de carbono em sistema agroecológico de café sombreado variaram entre 7 a 21,22 g kg⁻¹ nas profundidades estudadas enquanto que na mata nativa os valores variaram entre 10,6 a 12,74 g kg⁻¹ indicando que, no sistema orgânico de café sombreado, existem os maiores estoques de carbono.

Os maiores valores de carbono humina foram encontrados no sistema agroecológico de café sombreado, na sequência de topo, encosta e pedimento em comparação com a mata nativa.

O sistema de manejo agroecológico de café sombreado influencia as características higrométricas da área, mantendo a umidade da superfície do solo e protegendo a área contra erosão.

O plantio de café em áreas montanhosas é uma alternativa que atende a produção de cafés especiais, e protege ao meio ambiente em regiões montanhosas ainda preservadas, como no caso do brejo de altitude de Taquaritinga do Norte, com plantio de café sombreado.

7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

AAO (Associação de Agricultura Orgânica). Disponível em: <<http://www.aao.org.br>>.

DE ALCÂNTARA, Flávia A.; MADEIRA, Nuno Rodrigo. **Manejo do solo no sistema de produção orgânico de hortaliças**. Circular Técnico n. 64, Embrapa – 2008. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/769977/4/ct64.pdf>> Acesso em setembro de 2019.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M. **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: Método da fumigação-extração**. Seropédica: Embrapa-CNPAB, 1997. 10 p. (Embrapa -CNPAB. Documentos, 37). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAB-2010/27227/1/doc037.pdf>> Acesso em: 10 janeiro de 2019.

ALMEIDA, M.D.C.; TRINDADE, A.V.; MAIA, I.C.S. e MARQUES, M.C. (2008) – **Influências dos diferentes sistemas de manejo no comportamento da microbiota do solo em áreas sob cultivo de mamão na região de Cruz das Almas, BA**. Revista de Biologia e Ciências da Terra, vol. 8, p. 67-75.

ALMEIDA, J. **Agroecologia: nova ciência, alternativa técnico-produtiva ou movimento social?** In: RUSCHEINSKY, Aloísio (Org.). Sustentabilidade: uma paixão em movimento. Porto Alegre: Sulina, 2004. p. 88-101.

ALMEIDA, B. G. de; et al. 2017 - **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 3ª ed. rev. e ampl. Brasília, Embrapa Solos. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/36910948/manual-de-metodos-de-analise-de-solo-e-lancado-em-formato-epub>>. Acesso em jul. 2018.

ALTIERI, M. **The ecological role of biodiversity in agroecosystem**. Agriculture Ecosystems & Environment, Amsterdam.v.74, p. 19-31.1999.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. **Qualidade de um solo sob diferentes usos e cerrado nativo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.1099-1108, 2007.

AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R.S.D. **Solos e Ambiente: uma introdução**. Santa Maria: Pallotti, 2004.

AREND, K. **Substâncias húmicas e formas de cobre em solos de áreas de videira**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2010. 116p. (Tese de Doutorado).

ALVARENGA, Maria Inês Nogueira; MARTINS, Márcia; de PAULA, Miralda Bueno. **Informe Agropecuário. Manejo ecológico da propriedade cafeeira orgânica**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.23, 214/215, p. 21-31, jan./abr. 2002.

ALVARENGA, C.C. (2010) **Indicadores hidrológicos do solo para identificação de áreas potenciais de recarga subterrânea**. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola) Viçosa – MG, Universidade Federal de Lavras - UFLA, 81p

AMARO FILHO, J. **Determinação da condutividade capilar mediante o método do perfil instantâneo**. 1982. 90 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal da Paraíba, Areias, 1982.

ANDERSON, T.H. e DOMSCH, K.H. **The metabolic quotient (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils**. Soil Biol. Biochem., 25:393-395, 1993.

ANDERSON, J. L.; BOUMA, J. **Relationships between saturated hydraulic conductivity and morphometric data of an argillic horizon**. Soil Science Society American Proceedings, Madison, v. 37, n. 3, p. 408-413, 1973.

ANDRADE, C. A.; OLIVEIRA, C. de; CERRI, C. C. **Qualidade da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo tratado com biossólido e cultivado com eucalipto**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 803-816, 2005.

ANDRADE LIMA, D. 1982. **Present-day forest refuges in Northeastern Brazil**. In: Prance, G. T. (Ed.) Biological Diversification in the tropics. Plenum Press: New York Botanical Garden. p. 245-251.

ANDRADE-LIMA, D. 1960. **Estudos fitogeográficos de Pernambuco**. Arquivos do Instituto de Pesquisa Agronômica. 5: 305-341.

ASHIAGBOR, G., FORKUNO, E. K., Laari, P., & Aabeyir, R. (2013). **Modeling Soil Erosion Using RUSLE and G.IS Tools**. International Journal Of Remote Sensing & Geoscience (IJRSG, 2, 7-17).

ASSIS, C.P.; JUCKSCH, I.; SÁ MENDONÇA, E.; NEVES, J.C.L. **Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.41, p.1541-1550, 2006.

AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D. **Solos e ambiente: uma introdução**. Santa Maria: Pallotti, 2006. 100 p. Biblioteca (s): Embrapa Agropecuária Oeste, Embrapa Solos.

AVELINO, J.; CABUT, S.; BARBOZA, B.; BARQUERO, M.; ALFARO R., ESQUIVEL C., et al., 2007. **Topography and crop management are key factors for the development of American leaf spot epidemics on coffee in Costa Rica**. Phytopathology, 97: 1532-1542.

AVELINO, J., ZELAYA, H., MERLO, A., PINEDA, A., ORDOÑEZ, M., SAVARY, S., 2006. **The intensity of a coffee rust epidemic is dependent on production situations**. Ecol. Modell. 197, 431–447. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2006.03.013.

BARDGETT, R. D. et al. **Dynamic interactions between soil animals and microorganisms in upland grassland soils amended with sheep dung: a microcosm experiment**. Soil Biology & Biochemistry, v. 30, n. 4, p. 531-539, 1998.

BARDGETT, R. D. **Causes and consequences of biological diversity in soil**. Zoology, v. 105, p. 367-374, 2002.

BALOTA, E. L. et al. **Atividade microbiana em sistemas de preparo do solo e sucessão de culturas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Resumos expandidos. Rio de Janeiro: SBSC, 1997. CD – ROM.

BARROS, E. N. S., VIOLA, M. R., RODRIGUES, J. A. M., MELLO, C. R., Avanzi, J. C., & GIONGO, M. (2018). **Modelagem da erosão hídrica nas bacias hidrográficas dos rios Lontra e Manoel Alves Pequeno, Tocantins**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias [online] 13. Disponível: <https://doi.org/10.5039/agraria.v13i1a5509>. Acesso em: setembro 2019.

BAUHUS, J.; PAR, D.; C. T, L. **Effects of tree species, stand age and soil type on soil microbial biomass and its activity in a Southern Boreal forest.** *Soil Biology & Biochemistry*, v. 30, n. 8, p. 1077-1089, 1998.

BELASRI, A., e LAKHOULI, A. (2016). **Estimation of Soil Erosion Risk Using the Universal Soil Loss Equation (USLE) and Geo-Information Technology in Oued El Makhazine Watershed, Morocco.** *Journal Of Geographic Information System* [online] 8. Disponivel: *Revista Brasileira de Geografia Física* Xavier, J. P. S., Barros, A. H. C., Webber, D. C., Accioly, L. J. O., Marques, F. A., Araújo Filho, J. C., Silva, A. B. 874 [Http://dx.doi.org/10.4236/jgis.2016.81010](http://dx.doi.org/10.4236/jgis.2016.81010). Acesso, setembro 2019.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SOUZA, Z.M.; ANDRIOLI, I. & ROQUE, C.G. **Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos.** *R. Bras. Ci. Solo*, 26:829-834, 2002.

BEZERRA, Sandro Augusto e CANTALICE, José Ramon Barros. **Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [online]. 2006, vol.30, n.3, pp.565-573. ISSN 1806-9657. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000300016>.

BHAGWAT, S.A, WILLIS, K.J., BIRKS, H.J.B., WHITTAKER, R.J., 2008. **Agroforestry: A refuge for tropical biodiversity?** *Trends Ecol. Evol.* 23, 261–7. doi:10.1016/j.tree.2008.01.005.

BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. **Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and development of a carbon management index for agricultural systems.** *Aust. J. Agric. Res.*, 46:1459-1466, 1995.

BRINATE, S.V.B.; NOGUEIRA, N.O.; MARTINS, L.D.; TOMAZ, M.A.; ANDRADE, F.V.; PASSOS, R.R. **Avaliação dos atributos físicos de solos sob cultivo de café na microrregião do Caparaó-ES.** XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, 2008, São José dos Campos. Resumos expandidos... São José dos Campos, 2008, v. 1, p. 12-16.

BROOKES, P. C. **The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals.** *Biol. Fert. Soils*, 19:269-279, 1995.

CAMARGO, M.B.P. **Influência do clima na produtividade de grãos e na qualidade da bebida do café.** In: SALVA, T, J.G.; GUERREIRO FILHO, O.; THOMAZIELLO, R.A., FAZUOLI, L.C. (Ed.). Cafés de qualidade: aspectos tecnológicos, científicos e comerciais. Campinas – SP:Editora IAC, 2007. p.2-26.

CANNAVO P., SANSOULET J., HARMAND J. M., SILE P., DREYER E., VAAST P., 2011. **Agroforestry associating coffee and Inga densiflora results in complementarity for water uptake and decreases deep drainage in Costa Rica.** Agriculture Ecosystem and Environment, 140: 1-13.

CANELLAS, L.P.; ZANDONADI, D.B.; MÉDICI, L.O.; PERES, L.E.P.; OLIVARES, F.L.; FAÇANHA, A.R. **Bioatividade de substâncias húmicas: ação sobre desenvolvimento e metabolismo das plantas.** In: CANELLAS, L.P. e SANTOS, G.A. (Ed.). Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Campos dos Goytacazes: CCTA, UENF, 2005. p. 224-243.

CANELLAS, L.P.; BERNER, P.G.; SILVA, S.G.; SILVA, M.B.; SANTOS, G.A. **Frações da matéria orgânica em seis solos de uma toposseqüência no estado do Rio de Janeiro.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, p.133-143, 2000.

CARDOSO, M. O. **Métodos para quantificação da biomassa microbiana no solo.** Agropecuária Técnica, v. 25, n.1, p. 1-12, 2004.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F. et al. **Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 33: 147-157, 2009.

Carvalho JLN, Avanzi JC, Silva MLN, Mello CR, Cerri CEP. **Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil.** R Bras Ci Solo. 2010; 34: 277-89.

COELHO, R.A.; SILVA, G.T.A.; M.S.F.; RESENDE, A.S. **Efeito de leguminosa arbórea na nutrição nitrogenada do cafeeiro (Coffea canephora Pierre ex Froehn) consorciado com bananeira em sistema orgânico de produção.** Coffea Science, lavras, v.1, p.21-27, 2006.

CONTEH, A.; BLAIR, G.J. **The distribution and relative losses of soil organic carbon fractions in aggregate size fractions from cracking clay soils (vertisols) under cotton production.** Australian Journal of Soil Research, v.36, p.257-271,1998.

CORRÊA, R. M.; M. B. G. S.; FERREIRA, R. L. C.; FREIRE, F. J.; PESSOA, L. G. M.; MIRANDA, M. A.; MELO, D. V. M. **Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33: 305-314, 2009.

COSTA, Newton de Lucena; MEDEIROS, Marly de Souza; SOUZA, Flávio de França, COSTA, José Nilton Medeiros; DE MENEZES, Luiz Carlos Coelho; FERREIRA, Maria das Graças Rodrigues; LOCATELLI, Marília; DA COSTA, Rogério Sebastião Corrêa; RODRIGUES, SOUZA, Vanda Gorete. **Características das principais variedades de café cultivadas em Rondônia, Porto Velho:** EMBRAPA Rondônia, 2004. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54346/1/Doc93-cafe.pdf>>. Acesso em: 20 setembro 2019.

COOPER, Miguel; MAZZA, Jairo Antônio. **Densidade do solo e densidade de partículas.** USP. 2007. Disponível em: <https://disciplinas.stoa.usp.br/mod/resource/view.php?id=192300> Acesso em 10 dezembro 2018.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; Siqueira, J. O; CARNEIRO, M.A.C. **Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do Cerrado no sul do Estado de Goiás.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 26:913-923, 2002.

DECHEN, S. C. F., TELLES, T. S., Guimarães, M. F. e Maria, I. C. (2015). **Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo.** Bragantia, 74, 224-233.

DE MELO, Roseli Freire; GIONGO, Vanderlise; DEON, Diana Signor; DOS ANJOS, José Barbosa. Uso e manejo do solo. In: DE MELO, Roseli Freire, VOLTOLINI, Tadeu Vinhas. **Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido.** Brasília, DF: Embrapa, 2019. (p 395) – (p 442).

DE OLIVEIRA NETO, Manoel Batista (ed.) e LOPES DA SILVA, Mari Sonia (ed.). **Árvore do conhecimento: Território Mata Sul Pernambucana**. Brasília, DF: Embrapa, 2011. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CONT000gt7eon7j02wx7ha087apz2e8slrpq.html#>. Acesso em: 10 set. 2019.

DEXTER, A. R.; RICHARD, G. **Tillage of soils in relation to their bi-modal pore size distributions**. Soil & Tillage Research, v. 103, n. 2, p. 113-118, 2009.

DICK, R. P. **A review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters**. Agricultural Ecosystems Environmental, v. 40, p. 25-36, 1992.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA-Serviço de Produção de Informação, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10, 1979, Rio de Janeiro. Súmula...Rio de Janeiro, 1979. 83p.

EMBRAPA AGROBIOLOGIA. **Sistemas agroflorestais (SAF's)**. 2004. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-produtos-processos-e-servicos/-/produto-servico/112/sistemas-agroflorestais-safs>>.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. 212p. Documentos, 1.

ERICKSON, A.E. Tillage effects on soil aeration. In: VAN DOREN, D.M.; ALLMARAS, R.R.; LINDEN, D.R.; WHISLER, F.D. (Ed.) **Predicting tillage effects on soil physical properties and processes**. Madison: ASA, 1982. cap.6, p.91-104.

FENDRICH, R. et al. **Drenagem e controle da erosão urbana**. Curitiba: IBRASA, 1988.

FERREIRA, Daniel Furtado. **Sisvar: um sistema computacional de análise estatística**. Ciência agrotec. [online]. 2011, vol.35, n.6, pp.1039-1042. ISSN 1413-7054.

FOLEY, J. A., RAMANKUTTY, N., BRAUMAN, K. a, CASSIDY, E.S., GERBER, J.S., JOHNSTON, M., MUELLER, N.D., O'CONNELL, C., RAY, D.K., WEST, P.C., BALZER, C., BENNETT, E.M., CARPENTER, S.R., HILL, J., MONFREDA, C., POLASKY, S., ROCKSTRÖM, J., SHEEHAN, J., SIEBERT, S., TILMAN, D., ZAKS, D.P.M., 2011. **Solutions for a cultivated planet**. Nature 478, 337–42. doi:10.1038/nature10452

FRANCO, F.S. **Sistemas agroflorestais: uma contribuição para a conservação dos recursos naturais na zona da mata de minas gerais**. 147 f. (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa – MG, 2000. Recife.

FRAGA, V. S. & SALCEDO, I. H. **Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soils under subsistence farming**. Soil Sci. Soc. Am. J., 68:215-224, 2004.

FRENDLUND, D. J. (1998) **Bringing unsaturated soil mechanics into engineering practice**. 2° International Conference on Unsaturated Soil, vol, 2, pp. 1-36. Beijing, China.

FRIES, M.R.; AITA, C. **Aplicação de esterco de bovino e efluente de biodigestor em um solo podzólico vermelho-amarelo: efeito sobre a produção de matéria seca e absorção de nitrogênio pela cultura do sorgo**. Revista do Centro de Ciências Rurais, Santa Maria, v. 20, n. 1-2, p. 137-145. 1990.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. & BARROS, N.F. **Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas vegetais**. R. Bras. Ci. Solo, 21:361-365, 1997.

GAMA-RODRIGUES, E.F. **Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes**. In: SANTOS, G.A. e CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Gênese, 1999. p.227-243.

GAMA RODRIGUES, A. C. **Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável**. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006.

GONÇALVES, M. T. (1992). **Exploração florestal, desenvolvimento e sociedade**. In: ACSELRAD, H. (Org.). Meio ambiente e democracia. Rio de Janeiro: IBASE. p. 57-70.

GRABLE, A.R.; SIEMER, E.G. **Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots.** Soil Science Society of America Journal, v.32, p.180-186, 1968.

GROSSMAN, R. B.; REINSCH, T. G. **Bulk density and linear extensibility.** In: DANE, J.H. & TOPP, C., eds. Methods of soil analysis: Physical methods. Madison, Soil Science of Society of America. p. 201-228, 2002.

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S. **Cafecultura.** Lavras. UFLA, 2002. 317p

GUIMARÃES, N.F.; GALLO, A.S; SOUZA, M.D.B.; AGOSTINHO, P.R.; GOMES, M.S e SILVA, R.F. (2015) – **Influência de sistemas de produção de café orgânico arborizado sobre a diversidade da fauna invertebrada epigéica.** Coffee Science, vol. 10, n. 3, p. 280-288.

GUNAPALA, N.; SCOW, K. M. **Dynamics of soil microbial biomass and activity in conventional and organic farming systems.** Soil Biology & Biochemistry, v. 30, n. 6, p. 805-816, 1998.

HERGOUALC'H, K.; SKIBA, U.; HARMAND, J.; HÉNAULT, C. **Fluxes of greenhouse gases from Andosols under coffee in monoculture or shaded by *Inga densiflora* in Costa Rica.** Biogeochemistry, v. 89, n. 329, p. 329–345, 2008. DOI: 10.1007/s10533-008-9222-7.

HOLLAND, J. E.; BENNETT, A. E.; NEWTON, A. C.; WHITE, P. J.; MCKENZIE, B. M.; GEORGE, T. S.; PAKEMAN, R. J.; BAILEY, J. S.; FORNARA, D. A.; HAYES, R. C. **Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: A review.** Science of The Total Environment, v. 610, p. 316–332, 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades: Taquaritinga do Norte.** Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/taquaritinga-do-norte/panorama>>. Acesso em: jul. 2019

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manuais Técnicos em Geociências: Manual Técnico de Pedologia** 2ª Ed. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv37318.pdf>>. Acesso em jul. 2019

IWATA, B. F. et al. **Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, Campina Grande, v. 16, n. 7, p. 730-738, 2012.

JARAMILLO-BOTERO, C.; SANTOS, R.H.S.; MARTINEZ, H.E.P.; CECON, P.R. e FARDIN, M.P. (2010) – **Production and vegetative growth of coffee trees under fertilization and shade levels**. Scientia Agricola, vol. 67, n. 6, p. 639-645. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162010000600004>

JASTROW, J. D.; AMONETTE, J. E.; BAILEY, V. L. **Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration**. Climatic Change, v. 80, p. 5-23, 2007.

JEZEER, R. E.; SANTOS, M. J.; BOOT, R. G. A.; JUNGINGER, M.; VERWEIJ, P. A. **Effects of shade and input management on economic performance of small-scale Peruvian coffee systems**. Agricultural Systems, v. 162, p. 179-190, 2018.

KAUTZ, G.; TOPP, W. **Sustainable forest management for improving soil quality**. Forstwissenschaftliches Centralblatt, v. 117, n. 1, p. 23-43, 1998.

KAISER, D. R. **Estrutura e água em Argissolo sob distintos preparos na cultura do milho**. 2010. 151 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

KELLERMAN, J.L., JOHNSON, M.D., STERCHO, A.M., HACKETT, S.C., 2008. **Ecological and Economic Services Provided by Birds on Jamaican Blue Mountain Coffee Farms**. Conserv. Biol. 22, 1177–1185. doi:10.1111/j.1523-1739.2008.00968.x

KELTING, D. L.; BURGER, J. A.; EDWARDS, G. S. **Estimating root respiration, microbial respiration in rhizosphere, and root-free soil respiration in forest soils**. Soil Biology & Biochemistry, v. 30, n. 7, p. 961-968, 1998.

KENNEDY, A. C.; SMITH, K. L. **Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils**. Plant and Soil, v. 170, p. 75-86, 1995.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 262 p.

KIEHL, J. E. **Preparo do composto na fazenda**. Casa da Agricultura, v.3, n.3, p.6-9, maio/jun. 1981.

KIEHL, J. E. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492p.

KLEIN, V. A. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. 1998. 150 f. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1998.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. **Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 945-953, 2002.

KÖPPEN, W.; Geiger, R. 1928. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlagcondicionadas. Justus Perthes. n.p.

LANZANOVA ME, NICOLOSO RS, LOVATO T, Eltz FLF, AMADO TJC, REINERT DJ. **Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura pecuária sob plantio direto**. R Bras Ci Solo. 2007;31:1131-40.

LARREA, C., ECKHARDT, K., ARANA, A., 2014. **El impacto económico del cambio climático en la selva alta para el cultivo del café** 1–22.

LAYCOCK D. H., WOOD R. A., 1963. **Some observations on soil moisture use under tea in Nysaland**. II. The effect of shade trees. Tropical Agriculture, 40: 40-42.

Lei Federal Nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil/leis/L9985.htm>>. Acesso em: ago. 2018. BRASIL.

LEITE, L. F. C.; ARRUDA, F. P. de; COSTA, C. do N.; FERREIRA, J. da S.; HOLANDA NETO, M. R. **Qualidade química do solo e dinâmica de carbono sob monocultivo e consórcio de macaúba e pastagem**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.17, n.12, p.1257–1263, 2013. doi:10.1590/S1415-43662013001200002.

LETEY, J. **Relationship between soil physical properties and crop productions**. *Advision Soil Science*, [S.l.], v. 1, p. 277-294, 1985.

LIMA, P. C. de. **Café orgânico**. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.25 n.4, p. 17-19, out/dez. 2000.

LIN B. B., 2010. **The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems**. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150: 510-518.

LINS, R.C. 1989. **As áreas de exceção do agreste de Pernambuco**. SUDENE/PSU/SER. Série Estudos Regionais. Recife. 402p.

LYNGBAEK, A. E.; MUSCHLER, R. G.; SINCLAIR, F. L. **Productivity and profitability of multistrata organic versus conventional coffee farms in Costa Rica**. *Agroforestry Systems*, [S.l.], v. 53, p. 205-213, 2001.

LOPES, A.S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Tradução e Adaptação. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 1998.

LOPES, Paulo Rogério. **Caracterização da incidência e evolução de pragas e doenças em agroecossistemas cafeeiros sob diferentes manejos**. 2009. 2003p. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

LOPES, Paulo Rogério; ARAÚJO, Keila Cássia Santos; FERRAZ, José Maria Guzman; LOPES, Iara Maria; FERNANDES, Lêda Gonçalves. **Produção de café agroecológico no sul de Minas Gerais: sistemas alternativos à produção intensiva em agroquímicos**. *Rev. Bras. de Agroecologia*. 7(1): 25-38 (2012).

LÓPEZ DE LEÓN, E. E.; MENDOZA DIÁZ, A. **Manual de cafeicultura orgânica**. Guatemala, Guatemala: Asociación Nacional del Café, 1999. 159p.

LORENZO, Mariana. **PEDOLOGIA – Morfologia: Densidade do Solo**. Publicado em outubro 2010. Disponível em: <<https://marianaplorenzo.com/2010/10/15pedologia-textura-do-solo/>>. Acesso em 20 jan. 2019.

LUXMOORE, R. J. **Micro, meso and macroporosity of soil**. Soil Science Society American Journal, Madison, v. 45, p. 671-672, 1981.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral das plantas**. Ed. Agronômica Ceres, São Paulo, 1980.

MARIN, A.M.P. **Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 83p. (Tese de Mestrado)

MARTINS, Eucarlos de Lima; CORINGA, Josias do Espírito Santo; WEBER, Oscarlina Lúcia dos Santos. **Carbono orgânico nas frações granulométricas e substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico - LVAd sob diferentes agrossistemas**. Acta Amaz., Manaus, v. 39, n. 3, p. 655-660, Sept. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672009000300021&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 18 Aug. 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672009000300021>.

MARQUES, J. D. de O. **Horizontes pedogenéticos e sua relação com camadas hidráulicas do solo**. 2000. 86 f. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2000.

MARTENS, R. **Current methods for measuring microbial biomass-C in soil: potentials and limitations**. Biology and Fertility of Soils, v. 19, p. 87-99, 1995.

MBOW, Cheikn; SMITH, Pete; SKOLE, David; DUGUMA, Lalisa; BUSTAMANTE, Mercedes. **Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa**. Current Opinion in Environmental Sustainability, v. 6, p. 8-14, 2014b.

MESQUITA, Carlos Magno de et al. **Manual do café: manejo de cafezais em produção**. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2016. 72 p. il.

MENDONÇA, E. S.; STOTT, D. E. **Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil**. Agroforestry Systems, Heidelberg, v. 57, p. 117-125, 2003.

MILET-PINHEIRO, P; SCHLINDWEIN, C. 2008. **Comunidade de abelhas (Hymenoptera, Apoidea) e plantas em uma área do Agreste pernambucano, Brasil**. Revista Brasileira de Entomologia 52(4): 625-636.

MMA, 2004. **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba: história natural, ecologia e conservação** / Organizadores, Kátia C. Porto, Jaime J. P. Cabral e Marcelo Tabarelli. — Brasília: 324p.: il. ; 23 cm. — (Série Biodiversidade, 9).

MONTEIRO, M.T.; GAMA-RODRIGUES, E.F. **Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana em diferentes estruturas de serapilheira de uma floresta natural**. R. Bras. Ci. Solo, 28:819-826, 2004.

MORAIS, H.; CARAMORI, P.H.; KOGUISHI, M.S.; ANDRADE, G.A. e SOUZA, F.S.D. (2007) – **Microclima de café cultivar iapar 59 consorciado com guandu (Cajanus cajan) no Norte do Paraná**. In: 5rd Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Brasília, Distrito Federal, p. 1-4.

MOREIRA, C.F. **Sustentabilidade de sistemas de produção de café sombreado orgânico e convencional**. 146p. Tese (Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 626p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2 ed. Lavras, UFLA, 2006, p.729.

MORGAN, R. P. C. (Royston Philip Charles), 1942– **Soil erosion and conservation** / R. P. C. Morgan. – 3rd ed. p. cm. 2005

MÜLLER, C. B.; Weber, O. L. S.; Scaramuzza, J. F. **Oxidizable fraction of organic carbon in an argisol under different land use systems**. Cerne, v.18, p.215-222, 2012.

NOGUEIRA, M. A.; ALBINO, U. B.; BRANDÃO-JÚNIOR, O.; BRAUN, G.; CRUZ, M. F.; DIAS, B. A.; DUARTE, R. T. D.; GIOPPO, N. M. R.; MENNA, P.; ORLANDI, J. M.; RAIMAN, M. P.; RAMPAZO, L. G. L.; SANTOS, M. A.; SILVA, M. E. Z.; VIEIRA, F. P.; TOREZAN, J. M. D.; HUGRIA, M.; ANDRADE, G. **Promising indicators for assessment of agroecosystems alteration among natural, reforested and agricultural land use in southern Brazil.** *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 115, p. 237-247, 2006.

OLIVEIRA, I. P.; SANTOS, K. J. G.; BELTRÃO, N. E. M.; NEVES, B. P.; ARAUJO, A. A.; OLIVEIRA, L. C. **Potenciais da mamona (*ricinus communis* L.) na Região Centro - Oeste brasileira.** *Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos. São Luis de Montes Belos - GO*, v. 1, n. 2, nov. 2005. p. 104 -130.

PAUL, E. A. et al., **Evolution of CO₂ and soil carbon dynamics in biologically managed, row-crop agroecosystems.** *Applied Soil Ecology*, v. 11, n. 1, p. 53- 65, 1999.

PEREIRA, Adalberto Alves; THOMAZ, Edivaldo Lopes. **Hipsometria e Declividade da Bacia Hidrográfica do Arroio Palmeirinha, município de Reserva – PR, utilizando o Software Spring.** *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu*, v. XVI, p. 3494 - 3501, 10 ago. 2019. Disponível em: <<http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.28.22.04.59/doc/p0071.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

PERFECTO, I.; VANDERMEER, J., MAS, A., PINTO, L.S., 2005. **Biodiversity, yield, and shade coffee certification.** *Ecol. Econ.* 54, 435–446. doi: 10.1016/j.ecolecon.2004.10.009.

PERFECTO, I., 2007. **Shade coffee; a disappearing refuge for biodiversity.** *Bioscience* 46, 598– 608.

PERFECTO, I., VANDERMEER, J.H., BAUTISTA, G.L., NUÑEZ, G.I., GREENBERG, R., BICHER, P., LANGRIDGE, S., 2004. **Greater predation in shaded coffee farms: The role of resident neotropical birds.** *Ecology* 85, 2677–2681. doi:10.1890/03-3145

PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F.M.; DANIEL, O. **Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais.** *Revista de Ciências Agrárias* 2013; 56(1): 40-47. [http:// dx.doi.org/10.4322/rca.2013.004](http://dx.doi.org/10.4322/rca.2013.004).

POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C. & CHRISTENSEN, B.T. **Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in the total soil organic matter due to straw incorporation.** Soil Biol. Biochem., 19:159-164, 1987.

PULROLNIK, K. et al. **Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no vale do Jequitinhonha-MG.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 33, p. 1125-1136, 2009.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos.** Curitiba, Saeafs, 1996. 446p

PREZOTTI, Luiz Carlos; MARTINS, Andre Guarçoni. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar.** Vitória - ES: Incaper, 2013. 104 p.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras.** 3.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65p.

RAZAFIMBELO, Tantely; CHEVALLIER, Tiphaine; ALBRECHT, Alain; CHAPUIS-LARDY, Lydie; RAKOTONDRA SOLO, Fela Nirina; MICHELLON, Roger; RABEHARISOA, Lilia; BERNOUX, Martial. **Texture and organic carbon contents do not impact amount of carbon protected in Malagasy soils.** Sci. agric. (Piracicaba, Braz.), Piracicaba, v. 70, n. 3, p. 204-208, June 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162013000300009&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 18 Ago 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162013000300009>.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. **Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação.** In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 1-48.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. **Ciclagem de nutrientes em plantio de eucalipto.** In: BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F. de. (Ed.). Relação solo eucalipto. Viçosa: UFV, 1990. p.265-302.

REIS, M. G. F. et. al. C. **Sequestro e armazenamento de carbono em florestal nativas e plantadas no Estado de Minas Gerais e Espírito Santo. Emissão × Sequestro de CO₂ - Uma nova oportunidade de negócios para o Brasil**, 1994. Rio de Janeiro. 1994. p. 155-195

RICCI, M. dos S.F.; ARAÚJO, M. do C.F.; FRANCH, C.M. de C. **Cultivo orgânico do café: recomendações técnicas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 101p.

RICCI, M. S. F.; ROUWS, J. R. C.; OLIVEIRA, N. G.; RODRIGUES, M. B. **Vegetative and productive aspects of organically grown coffee cultivars under shaded and unshaded systems**. Scientia Agricola, v. 68, n. 4, p. 424-430, 2011.

RICHARDS, L. A. **Physical conditions of water in soil**. In: BLACK, C. A. (Ed.). Methods of soil analysis. Madison: American Society for Testing and Materials, 1965. p. 128-152.

RODAL, M. J. N. et al., 2005. **Flora de um Brejo de Altitude na escarpa oriental do planalto da Borborema, PE, Brasil**. Acta bot. bras. 19(4): 843-858.

RODRIGUES, G. S. de Oliveira; TORRES, S.B.; LINHARES, P. C. F.; DE FREITAS, R. da Silva; MARACUJÁ, P. B. **Quantidade de esterco bovino no desempenho agrônômico da rúcula (*Eruca sativa* L.)**. Revista Caatinga, Mossoró, v. 21, n. 1, p. 162-168, 2008.

SAMAC, D.A.; TESFAYE, M. **Plant improvement for tolerance to aluminum in acid soils: a review**. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, Dordrecht, v. 75, n. 3, p. 189-207, 2003

SALMI, A. P. et al., 2009. **Teores de nutrientes na biomassa aérea da leguminosa *Flemingia macropylla***. Revista Brasileira de Agroecologia, 4:1013- 1017.

SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gêneses, 1999. 508p

SANTOS, D. R. S.; SILVA, L. S. **Fertilidade e Nutrição de Plantas**. Universidade Aberta do Brasil. Universidade Federal de Santa Maria. 2019. Disponível em <<https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:7DpIZhPXBQJ:w3.ufsm.br/agriculturafamiliar/>>. Acesso em 13 ago 2020.

SAIKIA, R.; SHARMA, S.; THIND, H. S.; SINGH, Y. **Tillage and residue management practices affect soil biological indicators in a rice-wheat cropping system in northwestern.**

SEUFERT, V.; RAMANKUTTY, N.; FOLEY, J. A. **Comparing the yields of organic and conventional agriculture.** Nature, London, v.485, p.229-32, 2012.

SCHNÜRER, J.; CLARHOLM, M.; ROSSWALL, T. **Microbial biomass and activity in an agricultural soil with different organic matter contents.** Soil Biology & Biochemistry, v. 17, n. 5, p. 611-618, 1985.

SCHROTH, G. et al., 1992. **Mulch decomposition under agroforestry conditions in a sub-humid tropical savanna process and influence of perennial plants.** Plant and Soil, v. 147, p. 1-11.

SHARMA, K. L. et al., 2005. **Longterm soil management effects on crop yields and soil quality in a dryland Alfisol.** Soil & Tillage Research, 83:246- 259.

SILES P., HARMAN J. M., VAAST P., 2010a. **Effects of Inga densiflora on the microclimate of coffee (Coffea arabica L.) and overall biomass under optimal growing conditions in Costa Rica.** Agroforestry Systems, 78: 269-186.

SILES P., VAAST, P., DREYER, E., HARMAND, J. M., 2010b. **Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception loss in a coffee (Coffea arabica L.) monoculture compared to an agroforestry system with Inga densiflora.** Journal of Hydrology, 395 (1): 39-48.

SILVA, C. C.; SILVEIRA, P. M. **Influência de sistemas agrícolas em características químico-físicas do solo.** Ciência e Agrotecnologia, 26: 505-515, 2002.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. **Matéria orgânica do solo.** In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N, F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B., NEVES, J. C. L. (Eds). Fertilidade do solo. Viçosa – MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

SILVA, E. E. da; AZEVEDO, P.H.S.; DE-POLLI, H. **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C).** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 6 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 98)

SILVA, M.S.C.; SILVA, E.M.R.D.; PEREIRA, M.G. e SILVA, C.F.D. (2012) – **Estoque de serapilheira e atividade microbiana em solo sob sistemas agroflorestais**. *Floresta e Ambiente*, vol. 19, n. 4, p. 431-441. <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.058>

SILVA, M.A.S. et al., 2007. **Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático**. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, Campina Grande, v.11, n.1, p.45-52.

SINGER, M.; EWING, S. **Soil quality**. In: Sumner, M. E. (ed.). *Handbook of soil science*. Boca Raton: CRC Press, 2000. p.271-298.

SMITH E. S. C., 1981. **The interrelationships between shade types and cocoa pest and disease problems in Papua New Guinea**. In: *Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cocoa and tea*, Beer J., 1987. *Agroforestry Systems*, 5: 3-13. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00046410>.

SMITH, P. **Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context**. *European Journal Soil Science*, New Jersey, v.20, p.229-236, 2004.

SNYDER, J. D.; TROFYMOW, J. A. **A rapid accurate wet oxidation diffusion procedure of determining organic and inorganic carbon in plant and soil samples**, *Cmm. Soil Sci. Plant Anal*, 15:587-597, 1984.

SOTO-PINTO, L., PERFECTO, I., CASTILLO-HERNANDEZ, J., CABALLERO-NIETO, J., 2000. **Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico**. *Agric. Ecosyst. Environ.* 80, 61–69. doi:10.1016/S0167-8809(00)00134-1.

SOUTO, P. C.; Bakke, I. A.; SOUTO, J. S.; OLIVEIRA, V. M. de. **Cinética da respiração edáfica em dois ambientes distintos no semiárido da Paraíba, Brasil**. *Revista Caatinga* v.22, p.52-58, 2009.

SOUZA, J. L. **Manejo orgânico de solos: a experiência da Emcaper**. Viçosa, SBCS, v. 4, p. 13-16, 2000. (Boletim Informativo).

SOUZA, Flávio de França; SANTOS, Júlio César Freitas; COSTA, José Nilton Medeiros; DOS SANTOS, Milton Messias. **Características das principais variedades de café cultivadas em Rondônia, Porto Velho**: EMBRAPA Rondônia, 2004.

SANTOS, G. G. **Impacto de sistemas de integração lavoura-pecuária na qualidade física do solo**. Goiânia: UFG, 2010. 122p. Tese Doutorado.

SCHIMIGUEL, R.; SÁ, J. C. M.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D. C.; ZUFFO, J. **Estabilidade de agregados do solo devido a sistemas de cultivo**. Synergismus scyentifica, Pato Branco, v. 9, n. 1, [s.p.], 2014.

SPARLING, G.P. **Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter**. Aust. J. Soil Res., 30:195-207, 1992.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P. dos; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. **Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.33, p.129-136, 2009

STALEY, J.T. **Biodiversity: are microbial species threatened? Current Opinion in Biotechnology**, v. 8, p. 340-345, 1997.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2. ed. New York: J. Wiley & Sons, 1994. 496 p.

SWIFT, R. S. 1996. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; Helmke, P.A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Eds.) **Methods of soil analysis: chemical methods**. Vol. 3. Soil Science Society of America; American Society of Agronomy, Madison. (SSSA. Book Series, 5). p. 1011-1020.

TEIXEIRA, P. C. et al. (editores técnicos), **Manual de métodos de análise de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília (DF): Embrapa Solos, 2017.

TOGNON, A. A. **Propriedades físico-hídricas do Latossolo Roxo da região de Guairá-SP sob diferentes sistemas de cultivo**. 1991. 85 f. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1991.

THOMASSON, A.J. **Towards an objective classification of soil structure.** Journal of Soil Science, v.29, p.38-46, 1978.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. **Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 22:573-581, 1998.

TREVISAN, S.; PIZZEGUELLO, D.; REPERTI, B.; FRANCIOSO, O.; SASSI, A.; PALME, K.; QUAGGIOTTI, S.; NARDI, S. **Humic substances induce lateral root formation and expression of the early auxin-responsive IAA 19 gene and DR5 synthetic element in Arabidopsis.** Plant Biology, Berlin, v. 12, p. 604-614, 2010.

VAAST, P., VAN KANTEN, R., SILES, P., ANGRAND, J., AGUILAR, A., 2008. **Biophysical interactions between timber trees and Arabica coffee in suboptimal conditions of Central America.** In: Toward agroforestry design: an ecological approach, Jose S., Gordon A. M. (Eds). New York, Springer, 133-146. <http://www.springer.com/la/book/9781402065712>.

VAAST P., CHARBONNIER F., GUILLEMOT J., MARUTI G., DEVAKUMAR A. S., 2014. **Shade level and tree species composition affect water dynamics in coffee agroforestry systems of Western Ghats, India.** In: Trees for life: accelerating the impact of agroforestry, VAAST P., HARMAND J. M., RAPIDEL B., JAGORET P., DEHEUVELS O., 2016. Coffee and cocoa production in agroforestry - a climate-smart agriculture model. In: Climate change and agriculture worldwide, Torquebiau E. (Ed.), Manley D. (Trad.), Cowan P. (Trad.). Heibelberg, Springer, 209-224. abstracts, 3rd World Congress of Agroforestry, Wachira M. A., Rabar B., Magaju C., Borah G. (Eds). Nairobi, World Congress on Agroforestry.

van GENUCHTEN, M.T. **A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil.** Soil Sci. Soc. Am. J., 44:892-898, 1980.

VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos cerrados.** Planaltina: Embrapa-CPAC, 1997. 524 p.

VELDKAMP, E. **Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation.** Soil Science Society of America Journal, v.58, p.175-180, 1994.

VELLOSO, A. L. et al., 2002. **Ecorregiões propostas para o Bioma Caatinga**. Associação Plantas do Nordeste, Instituto de Conservação Ambiental e The Nature Conservancy do Brasil, Recife. 76 p.

VICTORIA, R. et al., 2012. **The benefits of soil Carbon. Managing soils for multiple economic, societal and environmental benefits**. UNEP Year Book.

VIEIRA, F. C. B.; Bayer, C.; ZANATTA, J. A.; DIECKOW, J.; MIELNICZUK, J.; He, Z. L. **Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems**. Soil and Tillage Research, v.96, p.195-204, 2007.

VOMOCIL, J. A. **Porosity**. New York: Academic, 1965.

VON UEXKÜLL, H.R.; MUTERT, E. **Global extent, development and economic impact of acid soils**. Plant Soil, Dordrecht, v. 171, n 1, p. 1-15.

VON LÜTZOW, M., et al., 2006. **Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under diferente soil conditions – a review**. European Journal of Soil Science, 57, 426-445

VOLKOFF, B.; CERRI, C.C.; MELFI, J.A. **Húmus e mineralogia dos horizontes superficiais de três solos de campo de altitude dos Estados de Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.8, p.277-283, 1984.

VOLKWEISS, S.J.; TEDESCO, M.J.; GIANELO, C.;BISSANI, C.A. **A calagem dos solos ácidos - prática e benefícios**. BOLETIM TÉCNICO No 1, UFRGS. Porto Alegre/RS. 1992, 23p.

WANG, Q.; OTSUBO, K. ; ICHINOSE, T. **Digital map sets for evaluation of land productivity**. Disponível em: <http://escgm.org/html4/pdf/forum2000/DrQinxueWang.pdf>> Acesso em: 10 de janeiro de 2020.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil conservation**. 4.ed. Wallingford, CAB International, 1994. 276 p.

YOUNG, A. 1998. **Land resources: now and for the future**. Cambridge University Press, Cambridge

XAVIER, J. P de Santana; Barros, A. H. C.; WEBBER, D. Chaves; ACCIOLY, J. de Oliveira; MARQUES, F. A.; DE ARAÚJO FILHO, J. C.; BARROS DA SILVA, Ademar. **Estimativa da erosividade da chuva por diferentes métodos e seu impacto na equação universal de perdas de solo, no semiárido Pernambucano**. Revista Brasileira de Geografia Física v. 12, n. 03 (2019) 859-875.

Recife, 31 de Janeiro 2020.

ASSINATURAS DO PÓS GRADUANDO E DO ORIENTADOR

Prof. Dr. Victor Casimiro Piscoya
Orientador

Prof. Dr. Renisson Neponuceno de Araújo Filho
Coorientador

Cristiane Maria Gonçalves Crespo
(Orientada)

Recife, 31 de Janeiro 2020.