

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

**QUALIDADE DO SOLO EM AMBIENTE DE BARRAGEM
SUBTERRÂNEA DO SEMIÁRIDO NO ESTADO DE PERNAMBUCO**

LIDIANE ALMEIDA PESSOA

Orientador: Prof. Dr. Fernando Cartaxo Rolim Neto

Co-orientadora: Prof^a. Dra. Maria Sonia Lopes da
Silva

Recife, PE

Agosto, 2018

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

LIDIANE ALMEIDA PESSOA

**QUALIDADE DO SOLO EM AMBIENTE DE BARRAGEM
SUBTERRÂNEA NO SEMIÁRIDO DO ESTADO DE PERNAMBUCO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, Área de Concentração: Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Cartaxo Rolim Neto

Co-orientador: Prof^ª. Dra. Maria Sonia Lopes da Silva

Recife, PE

Agosto, 2018

LIDIANE ALMEIDA PESSOA

**QUALIDADE DO SOLO EM AMBIENTE DE BARRAGEM SUBTERRÂNEA
DO SEMIÁRIDO NO ESTADO DE PERNAMBUCO**

Banca examinadora:

Prof. Dr. Marcus Metri Corrêa
Universidade Federal Rural de Pernambuco - PPEAMB

Dr. Roberto da Boa Viagem Parahyba
EMBRAPA UEP Recife - PE

Orientador:

Prof. Dr. Fernando Cartaxo Rolim Neto
Universidade Federal Rural de Pernambuco - PPEAMB

José Ramon Barros Cantalice
Universidade Federal Rural de Pernambuco - PPEAMB

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

P475q Pessoa, Lidiene Almeida.
Qualidade do solo em ambiente de barragem subterrânea do semiárido no Estado de Pernambuco / Lidiene Almeida Pessoa. – Recife, 2018.
77 f.: il.

Orientador(a): Fernando Cartaxo Rolim Neto.
Coorientador(a): Maria Sonia Lopes da Silva.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, BR-PE, 2018.
Inclui referências.

1. Solos 2. Tecnologia social 3. Carbono orgânico 4. Solos - Composição
I. Rolim Neto, Fernando Cartaxo, orient. II. Silva, Maria Sonia Lopes da, coorient.
III. Título

CDD 628

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pela dedicação e incentivo ao estudo e pelo apoio em todos os momentos da minha vida. Obrigada mainha e painho.

À André Cardim, pela companhia, carinho e apoio incalculáveis. Se cheguei até aqui foi muito por tê-lo ao meu lado. Obrigada. Amo você.

Ao meu filho João, por ser a razão da minha inspiração, minha força, meu maior incentivo. E pelos sorrisos que me trouxeram paz nos momentos mais difíceis. Mamãe ama você!

Ao Professor Fernando Cartaxo pela orientação, pela paciência e dedicação e por todas as lições ensinadas. Obrigada professor. Ao Doutor Roberto da Boa Viagem Parahyba pela disponibilidade, pelo esforço e ajuda na coleta e pelas informações valiosas em campo. Muito obrigada!

Ao Professor Brivaldo Almeida pelo espaço disponibilizado no laboratório de Física do solo para realização dos experimentos.

Aos professores Gisele e Felipe Fracetto, por abrir as portas do laboratório de microbiologia do solo e possibilitar a conclusão de uma parte tão importante das minhas análises. Ao professo Felipe pelas explicações e toda ajuda com os cálculos.

Aos colegas do laboratório de Microbiologia de solos. Vocês são uma equipe maravilhosa.

Dos laboratórios em que estive agradecimento especial a Aglair e Cintia. Obrigada pela companhia, pelos ensinamentos, por toda a ajuda. Vocês são mulheres incríveis e cientistas brilhantes!

Ao Dr. Wagner Souza por toda ajuda e disponibilidade para que eu pudesse realizar as análises estatísticas.

À professora Soraya El-Deir pela ajuda e apoio inestimáveis durante minha jornada no PPEAMB. Muito Obrigada.

À Coordenação do PPEAMB e aos funcionários.

À FACEPE pelo apoio financeiro durante os dois anos de pesquisa.

RESUMO

A qualidade do solo é um fator de grande relevância para a manutenção da qualidade ambiental. Para investigar essa qualidade é necessário conhecer e analisar os principais atributos relacionados às propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos. Este trabalho busca estudar a contribuição de solos em ambiente de barragem subterrânea, para a sustentabilidade de agro ecossistemas de base familiar em uma área do Semiárido pernambucano. O local de estudo foi uma propriedade rural no município de Serra Talhada – PE. Quatro áreas de estudo foram definidas, diferenciadas pelas características internas de cada área: A - área com presença de sulcos de erosão preenchidos por vegetação; B - área de contribuição de uma barragem subterrânea instalada na propriedade; C - área de vegetação tipo caatinga; D - área de plantio e uso da família, próximo à residência. Amostras foram coletadas nas camadas de 0,0m - 0,10m e 0,20 m - 0,30m e nelas foram determinados valores de atributos físicos, químicos e biológicos. Os resultados foram analisados estatisticamente através de testes de variância, análise dos componentes principais (ACP) e agrupamento. As concentrações de carbono das áreas em estudo, importantes indicadores da qualidade dos solos, foram bem inferiores aos encontrados em áreas sob condições semelhantes. Os solos das áreas estudadas apresentaram, de modo geral, alto quantitativo de areia, estabilidade de agregados e densidade variável, apresentando melhores valores para as a camada mais profunda estudada (0,20m – 0,30m). Os solos nas áreas estudadas se mostraram eutróficos. A avaliação dos indicadores de qualidade física, química e microbiológica juntamente com o Diagnóstico Rural Participativo, realizado junto a família, sugere que as tecnologias implantadas, em especial a barragem subterrânea, oferecem condições para o bom desenvolvimento do sistema de produção familiar existente.

Palavras-chave: Indicadores de qualidade, tecnologia social, carbono orgânico, atributos do solo.

ABSTRACT

The quality of the soil is a factor of great relevance for the maintenance of environmental quality. To investigate this quality it is necessary to know and analyze the main attributes related to the physical, chemical and biological properties of soils. This work aims to study the contribution of soils in an underground dam environment for the sustainability of agroecosystems based in a semiarid region of Pernambuco. The study site was a rural property in the municipality of Serra Talhada - PE. Four study areas were defined, differentiated by the internal characteristics of each area: A - area with presence of erosion furrows filled by vegetation; B - contribution area of an underground dam installed in the property; C - area of vegetation type caatinga; D - area of planting and use of the family, near the residence. Samples were collected in the 0.0m-0.10m and 0.20-0.30m layers and determined physical, chemical and biological attributes values. The results were analyzed statistically through tests of variance, principal component analysis (PCA) and clustering. The carbon concentrations of the study areas, important indicators of soil quality, were well below those found in areas under similar conditions. The soils of the studied areas presented, in general, high sand quantitative, aggregate stability and variable density, presenting better values for the deepest layer studied (0.20-0.30m). The soils in the studied areas were eutrophic. The evaluation of physical, chemical and microbiological quality indicators, together with the Participatory Rural Diagnosis, carried out with the family, suggest that the technologies implemented, especially the underground dam, provide conditions for the proper development of the existing family production system.

Key words: Quality indicators, social technology, organic carbon, soil attributes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Desenho esquemático do funcionamento e corte transversal da barragem subterrânea.....	28
Figura 2- Mapa do estado de Pernambuco, destacando o município de Serra Talhada, pontuando o local da área de estudo.....	30
Figura 3 - (a) área barragem subterrânea mantendo a plantação verde mesmo no período seco do ano. (b) Sr. Manuel e família, proprietários.	32
Figura 4- Esquema do perfil do terreno, ilustrando as áreas e pontos de coleta das amostras em função da altitude.....	34
Figura 5 - Pontos de coleta de solo.....	34
Figura 6 - (a) - vista da área mais elevada da propriedade, denominada aqui área A; (b) detalhe do aspecto do solo encontrado no local; (c) sulco de erosão, com presença de vegetação, onde foram realizadas as coletas nesta área.....	35
Figura 7 - Coleta de solo na área C. A grande quantidade de rochas na superfície do solo é uma característica peculiar desta área.	36
Figura 8 - Coleta de amostras de solo num campo de feijão, na área D da propriedade rural.	36
Figura 9 - Aparelho de oscilação vertical do tipo Yooder para realização do teste de estabilidade de agregados via úmida	39
Figura 10 - Casa da família de Dona Socorro e Sr. Manuel em dois momentos da trajetória de vida da família, em 2010 (a), quando a implantação das tecnologias de captação de água ainda eram recentes na propriedade e, em 2017 (b), com melhorias visíveis na estrutura da casa.....	47
Figura 11 – Concentração de carbono da biomassa microbiana do solo, nas quatro áreas estudadas, nas profundidades 0,0 m – 0,10 m e 0,2 m - 0,3 m.....	54
Figura 12 - Gráfico da distribuição da nuvem de variáveis no círculo de correlações nas profundidades de 0-0,10 m (A) e 0,20-0,30 m (B).....	60
Figura 13 - Dendograma representando os grupos formados pelas áreas em estudo nas profundidades 0,0 – 0,10 m (a) e 0,20 – 0,30 m (b)	62

Quadro 1 - Valores utilizados para a classificação dos solos quanto à salinidade em função do pH, condutividade elétrica do extrato de saturação (CEe) e porcentagem de sódio trocável (PST).....	24
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos físicos do solo nas profundidades dos perfis estudados.	48
Tabela 2 - Características químicas dos solos nas áreas estudadas	50
Tabela 3 - Valores medios da condutividade elétrica do estrato de saturação do solo e teste de Duncan a 5% de significância	53
Tabela 4 - Caracterização biológica das quatro áreas em estudo	54
Tabela 5 - Análises dos atributos do solo como determinantes do carbono orgânico do solo na profundidade 0 – 0,10 m.....	57
Tabela 6 - Análises dos atributos do como determinantes para os valores de carbono orgânico do solo nas profundidade 0,20 – 0,30 m.....	58

Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1. O Solo.....	14
2.2. Funções do solo e serviços ecossistêmicos.....	14
2.3. Degradação do solo.....	17
2.4. Qualidade de Solo	17
2.4.1. Densidade do solo.....	18
2.4.2. Porosidade do solo.....	19
2.4.3. Estabilidade de agregados	20
2.4.4. Microbiologia e Carbono no solo	21
2.4.5. pH e Salinidade.....	23
2.5. Semiárido Brasileiro.....	24
2.6. Diagnóstico Rural Participativo	25
2.7. Tecnologias sociais alternativas e Convivência com o déficit hídrico	27
2.8. Barragem subterrânea	27
3. MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1. Características gerais da região	30
3.1.1. Clima	31
3.1.2. Vegetação e solo.....	31
3.1.3. Relevo.....	31
3.2. Descrição da barragem subterrânea em estudo.....	32
3.3. Avaliação da sustentabilidade sócio, econômica e ambiental	33
3.4. Avaliação da qualidade do solo	33
3.4.1. Amostragem e coleta	33
3.4.2. Pré-tratamento (preparo das amostras de solo).....	36
3.4.3. Características físicas do solo.....	37
3.4.3.1. Análise granulométrica	37
3.4.3.2. Densidade do solo	38
3.4.3.3. Densidade da partícula	38
3.4.3.4. Estabilidade de agregados via úmida.....	38

3.4.3.5.	Determinação da condutividade elétrica do solo	40
3.5.	Características químicas do solo	40
3.6.	Análises biológicas	41
3.6.1.	Carbono da biomassa microbiana (C-BMS).....	42
3.6.2.	Respiração basal do solo (RBS)	42
3.7.	Análises estatísticas.....	43
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1.	Relato da trajetória de vida da família – Diagnóstico Rural Participativo.....	44
4.2.	Características físicas do solo	48
4.3.	Características químicas do solo	50
4.3.1.	Condutividade elétrica do solo e salinidade	52
4.4.	Análises biológicas	53
4.4.1.	Carbono da biomassa microbiana e Respiração basal do solo	53
4.5.	Análise de componentes principais (ACP)	56
4.6.	Análise de agrupamentos	61
5.	CONCLUSÃO	63
	REFERÊNCIAS	64

1. INTRODUÇÃO

Os solos constituem a base para o desenvolvimento agrícola sustentável, funções essenciais dos ecossistemas e para a segurança alimentar. Eles são fundamentais para sustentar a vida na Terra. A degradação do solo é uma ameaça real e crescente causada por usos insustentáveis da terra e práticas de manejo, e extremos climáticos que resultam de vários fatores sociais, econômicos e de governança. A atual taxa de degradação do solo ameaça a capacidade das gerações futuras de atender suas necessidades. Esta tendência pode ser revertida através de um esforço concentrado para a sua gestão sustentável. Em função disso se faz necessária a compreensão e o estudo da qualidade do solo, a qual pode ser definida como a capacidade de funcionamento dentro dos limites do ecossistema; sustentando a produtividade biológica e mantendo a qualidade ambiental (DORAN; ZEISS, 2000; UNITED NATIONS, 2016).

Para avaliar a qualidade do solo é imprescindível conhecer os atributos físicos, químicos e biológicos do solo e seus reflexos na capacidade que o mesmo tem de cumprir suas funções e disponibilizar todos os nutrientes e minerais para as plantas e animais. A conexão e a inter-relação entre esses atributos permite revelar como o solo está organizado, se existem alterações em sua estrutura natural e a que estão ligadas essas alterações (TÓTH et al., 2018).

O conhecimento e a compreensão acerca dos atributos físicos e químicos, com comportamento mais estático (por exemplo, textura e granulometria) ou dinâmico (por exemplo, carbono orgânico e condutividade elétrica), se faz necessária para orientação de estratégias de manejo agrícola e uso do solo (ARAÚJO et al., 2018b; SILVA, 2013), especialmente em regiões semiáridas, onde a vegetação natural da Caatinga tem sido substituída por sistemas agrícolas instáveis, que causam alterações nas propriedades do solo (BARROS; CHAVES, 2014).

O Semiárido brasileiro, região que abrange cerca de 68% da região Nordeste do país, é caracterizado por apresentar os menores índices pluviométricos do país, cujas precipitações médias anuais são iguais ou inferiores a 800 mm, marcada pela variabilidade espaço-temporal, baixa umidade relativa do ar, em torno de 50%, vegetação basicamente composta por caatinga hiperxerófila com trechos de floresta caducifolia e temperatura média anual de

26,3 °C, variando entre 18,2 e 34 °C (IBGE, 2018; LIMA; CAVALCANTE; PEREZ-MARIN, 2011).

Segundo França et al. (2016) a baixa disponibilidade de água na região do semiárido constitui um obstáculo à permanência das famílias no meio rural. É notável porém o potencial da região para uma exploração que permita o desenvolvimento sustentável de suas populações (BUAINAIN; GARCIA, 2013). Diversas tecnologias sociais vêm sendo desenvolvidas, no intuito de melhorar o convívio das famílias com o ambiente semiárido, unindo o conhecimento acadêmico a contribuição das experiências acumuladas pela população residente. As tecnologias sociais voltadas para o semiárido podem ser definidas como alternativas simples, de baixo custo e de fácil reaplicação, para a solução de ordens estrutural e efetiva na resolução de problemas sociais (COSTA et al., 2013). A barragem subterrânea é uma tecnologia social de baixo custo e de processo simples de construção e operação, permitindo um aproveitamento mais racional da água contida em aluviões, como definido por De Melo Souza et al. (2016). Essa interferência humana nos recursos hídricos, devido à necessidade do uso de água com o crescimento da população, tornou-se mais efetiva através das construções de barragens e de reservatórios, modificando o meio ambiente e sua dinâmica. (RODRIGO-COMINO et al., 2017).

Objetivo Geral

Estudar a contribuição de solos em ambiente de barragem subterrânea, para a sustentabilidade de agro ecossistemas de base familiar em região semiárida de Pernambuco.

Objetivos Específicos

- Realizar um diagnóstico socioeconômico de um sistema baseado na agricultura familiar;
- Avaliar a qualidade dos solos em agro ecossistema de barragem subterrânea;
- Monitorar os níveis de sais no solo nas áreas estudadas;
- Avaliar a qualidade biológica do solo por meio da atividade microbiana.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O Solo

Como muitas palavras comuns, a palavra solo tem vários significados. Em seu significado tradicional, o solo constitui o meio natural para o crescimento das plantas. O solo também foi definido como um corpo natural constituído por camadas (horizontes do solo) compostas por materiais minerais desgastados pelo tempo, material orgânico, ar e água (COLEMAN; CALLAHAM; CROSSLEY JR, 2017; FAO, 2015).

Numa outra definição clássica (JENNY, 1994, 2012) conceitua solo como sendo o resultado da pedogênese controlada pelos seus fatores formadores. O solo se torna então, o produto final da influência combinada do clima, topografia, organismos (flora, fauna e humanos) e dos materiais originais (rochas e minerais originais) ao longo do tempo. Como resultado desse processo, o solo difere do material de origem em textura, estrutura, consistência, cor, características químicas, biológicas e físicas.

O solo é um componente essencial da Terra e dos ecossistemas, que são conceitos mais amplos abrangendo vegetação, água e clima no caso da Terra e, além desses três aspectos, também considerações sociais e econômicas no caso dos ecossistemas (HENGL et al., 2017).

As diferentes definições de solo refletem a complexidade e especificidade dessa parte subterrânea dos ecossistemas terrestres, assim como a íntima relação entre suas funções, e os serviços ecossistêmicos baseados no solo (BÜNEMANN et al., 2018).

O solo constitui um recurso natural essencial, sendo o componente fundamental dos ecossistemas terrestres e dando suporte desde as atividades agropastoris até as edificações do homem. Como num organismo dotado de vida, no solo ocorrem diversos processos físicos e químicos além de reações biológicas, que ao desempenhar funções-chave, tornam esse recurso imprescindível para o bom funcionamento dos agroecossistemas (WELC et al., 2012).

2.2. Funções do solo e serviços ecossistêmicos

As funções biofísicas do solo incluem ciclagem de nutrientes, dinâmica da água, filtragem e tamponamento, estabilidade física e suporte de sistemas vegetais e estruturas

humanas além de promoção da biodiversidade e habitat (HATFIELD; SAUER; CRUSE, 2017).

Existem diversas propriedades do solo relacionadas à funcionalidade do solo, no entanto, a capacidade do solo em fornecer essas funções é bem mais complexa do que uma simples listagem dessas propriedades (ADHIKARI; HARTEMINK, 2016; SWINTON et al., 2006; ZHANG et al., 2007).

É necessário expandir o conceito de funções do solo para que esse possa estar vinculado às funções do ecossistema. Essa expansão precisa incluir ainda o conceito de segurança do solo que, fornece a ligação entre propriedades do solo, funcionalidade do solo e serviços ecossistêmicos (BOUMA et al., 2015; BOUMA; MCBRATNEY, 2013; MCBRATNEY; FIELD; KOCH, 2014).

A amplitude das categorias de funções do solo demonstra a necessidade de expansão da visão para que se possa entender por completo a natureza vital dos solos que diz respeito a alimento, energia e água (ESPINOZA GUARDIOLA et al., 2017; MAIA et al., 2013).

Uma parte fundamental dessa conscientização é entender a ligação existente entre os serviços ecossistêmicos, os solos, o desenvolvimento sustentável e o bem-estar dos seres humanos (ADHIKARI; HARTEMINK, 2016).

Os serviços ecossistêmicos são benefícios da natureza para a humanidade. Estes incluem serviços de abastecimento, como alimentos e água doce; serviços reguladores como o controle climático; serviços de apoio como formação de solo e fotossíntese; e serviços culturais como recreação, valores espirituais e educacionais (COLEMAN; CALLAHAM; CROSSLEY JR, 2017; MANCINI et al., 2018).

Vários autores demonstram que o bem estar humano está intimamente ligado aos recursos do solo (AMUNDSON et al., 2015; BANWART, 2011; GREINER et al., 2017; HAYGARTH; RITZ, 2009; MCBRATNEY; FIELD; KOCH, 2014). Os solos são fundamentais para vários bens e serviços do ecossistema e sustentam a entrega de uma ampla gama de serviços ecossistêmicos, incluindo a produção de alimentos, a regulação da água e do clima, a provisão de energia e a biodiversidade (GRÊT-REGAMEY et al., 2017; VOLCHKO et al., 2013).

Greiner et al. (2017) destacam diversos aspectos da importância do solo para o fornecimento de serviços ecossistêmicos, ao colocá-lo como componente fundamental dos problemas de sustentabilidade ambiental que relacionam as mudanças climáticas, declínio da biodiversidade, segurança hídrica, segurança energética e segurança alimentar.

A capacidade do solo em prestar serviços ecossistêmicos e executar suas funções depende intimamente do estado de suas propriedades vitais. A capacidade de retenção de água, por exemplo, é uma propriedade do solo relacionada à dinâmica da água, à filtragem e ao tamponamento. Um solo arenoso, porém, irá apresentar baixa capacidade de retenção de água e não fornecerá essas funções tão bem quanto um solo franco argiloso com alta capacidade de retenção de água (HATFIELD; SAUER; CRUSE, 2017).

Bouma et al. (2015) alertam para a necessidade de uma maior conscientização em questões ambientais e sociais, demonstrando a importância do solo para os serviços ecossistêmicos e para os objetivos de desenvolvimento sustentável, propostos pela ONU (UNITED NATIONS, 2015). O autor afirma ainda que a segurança do solo requer a eliminação da degradação do solo e a obtenção de um recurso global em seu melhor estado.

A combinação de mudanças na concentração atmosférica de CO₂ juntamente com a mudança no manejo do solo afetará as propriedades físicas, químicas e biológicas do mesmo (MADHU; HATFIELD, 2013). Mudanças no clima acarretarão por sua vez, mudanças no sistema biológico do solo, apesar da diversidade apresentada por esse sistema. A degradação do solo afeta hoje aproximadamente 30% do planeta e a intensidade crescente do uso da terraserá responsável pela elevação dessa taxa, reduzindo conseqüentemente a diversidade biológica do solo (BENDER; WAGG; VAN DER HEIJDEN, 2016).

Apoiando a manutenção da qualidade dos solos existe o crescente conceito de Gestão Sustentável de Terras (SLM), descrito inicialmente por Smyth e Dumanski (1993), como sendo a combinação de tecnologias, políticas e atividades, destinadas a integrar princípios socioeconômicos com preocupações ambientais. Visa manter e melhorar a produtividade, melhorar a capacidade do solo de amortecer os processos de degradação, aumentando a estabilidade e a resiliência, proteger o potencial dos recursos naturais e a qualidade da água, mantendo a viabilidade econômica e assegurando o acesso aos benefícios da melhoria da gestão da terra.

O SLM reconhece que as pessoas (recursos humanos) e os recursos naturais dos quais elas dependem, direta ou indiretamente, estão inextricavelmente ligados. Em vez de tratar cada um isoladamente, todos os elementos do ecossistema são considerados em conjunto, a fim de se obterem múltiplos benefícios ecológicos e socioeconômicos. Os critérios de produtividade, resiliência, proteção, viabilidade econômica e aceitabilidade social, são os princípios básicos ou pilares sobre os quais a Gestão Sustentável de Terras está sendo desenvolvida (DUMANSKI; PEIRETTI, 2013).

2.3. Degradação do solo

O equilíbrio ecológico do solo tem sido constantemente perturbado por ações antrópicas inadequadas, as quais ocasionam a degradação e a redução da qualidade natural (CLAASSENS et al., 2008; IZQUIERDO et al., 2005; KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010; KUWANO et al., 2014).

A degradação do solo é tida como uma mudança no seu estado de saúde, resultando em uma capacidade diminuída do ecossistema para fornecer bens e serviços para seus beneficiários. Os solos degradados têm um estado de saúde tal que não fornecem os bens e serviços normais específicos em seu ecossistema (AHMAD, 2017; FAO, 2015; GOMIERO, 2016).

Existem aproximadamente 2 bilhões de hectares de solos degradados no planeta, cerca de 200 milhões desses hectares estão no Brasil, e são caracterizados como solos sem aptidão agrícola, mineração, construção de estradas, represas e áreas industriais (YOUNG, R. ORSINI, S.FITZPATRICK, 2015).

A gravidade e a extensão da degradação do solo estão aumentando no mundo, sendo o manejo inadequado a principal causa. O manejo inadequado dos solos interrompe os ciclos naturais de transformações da fauna e da flora e podendo levar ao comprometimento de todo o ecossistema (GUEDES et al., 2012;(PAZ et al., 2016) o que implica em riscos ambientais com impacto negativo para as comunidades rurais e repercussão no meio urbano (FAO, 2015).

Nesse contexto, a manutenção da qualidade do solo, ou mesmo a sua melhoria, é fundamental para a sustentabilidade, visando à produção agrícola e à conservação ambiental.

2.4. Qualidade de Solo

Numa definição proposta pelo comitê da *Soil Science Society of America* (AMERICA, 2008) a qualidade do solo é tida como sendo a adequação de um tipo específico de solo, para funcionar dentro de sua capacidade e dentro dos limites naturais ou gerenciados dos ecossistemas, sustentando a produtividade de plantas e animais, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar e apoiar a saúde humana e habitação.

Um conhecimento profundo da funcionalidade do solo é fundamental para o sucesso da restauração de ecossistemas perturbados, e sua avaliação envolve a avaliação das

propriedades e processos do solo como um componente de um ecossistema saudável (STAVI; LAL, 2013; TSIAFOULI et al., 2015; WALL; NIELSEN; SIX, 2015).

A manutenção do o nível desejável de qualidade do solo não é uma tarefa fácil, visto os inúmeros fatores que lhe influenciam, tais como clima, solo, planta, manejo humano e as interações entre esses. A qualidade do solo pode ser estudada a partir de mudanças nas suas características. A definição de um conjunto de indicadores de qualidades é interessante para avaliar o estado do solo (CHERUBIN et al., 2015, 2016; LIMA et al., 2013; MELO et al., 2017).

Para isso devem ser selecionados indicadores, que atuam como substitutos mensuráveis dos atributos do solo que permitindo caracterizar, acompanhar e avaliar as alterações ocorridas num dado ecossistema (DOS SANTOS et al., 2015; MUÑOZ-ROJAS et al., 2016; PADILHA et al., 2014)

Os indicadores de qualidade do solo podem ser classificados em quatro grupos: visuais, físicos, químicos e biológicos. Dentre as propriedades físicas dos solos mais estudadas, estão: textura, espessura, densidade, resistência à penetração, porosidade, capacidade de retenção d'água, condutividade hidráulica e estabilidade de agregados (DE ARAÚJO et al., 2012).

2.4.1. Densidade do solo

A densidade do solo, ou densidade do solo seco é um indicador da sua qualidade por se tratar de uma propriedade dinâmica, suscetível ao uso e de fácil determinação (GONÇALVES et al., 2013a). Por não requerer nenhum conhecimento específico ou uso de equipamentos caros, a densidade é um dos indicadores mais utilizados para avaliar a estrutura do solo. Amostras de volume conhecido são tipicamente obtidas usando-se núcleos (ou anéis volumétricos) de tamanho bem definido. A densidade é calculada como a razão entre a massa seca de sólidos e o volume do solo (FRISBIE; GRAHAM; LEE, 2014).

Por relacionar-se com outras características do solo como sua estrutura, densidade de partículas e porosidade, a densidade do solo é utilizada como indicadora de processos de degradação na estrutura do solo (VIANA et al., 2014). Aumentos na densidade do solo podem indicar um ambiente mais pobre para o crescimento radicular, com a redução da aeração e mudanças no comportamento da água no solo, o que acarreta consequente redução da infiltração e aumento da vulnerabilidade erosiva (BRADY; WEIL, 2010).

A densidade do solo tem sido utilizada como um parâmetro importante de caracterização física da estrutura do solo e como um indicador da sua compactação (PIRES; APARECIDO; CARLOS, 2011). Entre os métodos de determinação da densidade do solo, o mais utilizado e considerado padrão é o do anel volumétrico, que consiste na amostragem do solo com anel volumétrico de volume conhecido. Entretanto, existem métodos mais modernos para determinação dessa característica do solo, como a tomografia computadorizada, que tem sido utilizada em estudos da compactação e degradação do solo (GONÇALVES et al., 2013b).

2.4.2. Porosidade do solo

A porosidade do solo se refere ao espaço, entre os agregados e dentro deles, ocupado pelo ar ou pela água do solo (LEPSCH; MENK; OLIVEIRA, 2014). A determinação da porosidade total constitui-se na mais simples caracterização parcial do espaço poroso do solo. Pode ser realizada por meio das determinações da densidade do solo e da densidade de partículas, bastando converter os dados de densidade para volume (CUNHA et al., 2010; FERREIRA, 2010; SILVA et al., 2014). A porosidade do solo pode ser classificada em textural e estrutural. A primeira se refere àquela que ocorre entre as partículas primárias minerais, e a segunda compreende as microfissuras, fissuras e bioporos, sendo sensível a fatores de gestão, tais como o preparo do solo e compactação (DEXTER, 2004).

Costuma-se classificar os poros em classes de tamanho, ou seja, macroporos e microporos, admitindo-se que os macroporos são os responsáveis pelo livre movimento do ar, da água e do crescimento radicular, e os microporos respondem pela reserva de água (REICHARDT et al., 1990).

O volume total de poros é dado pela soma de todos os tamanhos de poros de um solo, incluindo os menores poros capilares. O comportamento dos poros em seus diversos tamanhos é muito diverso em relação ao ar e à água neles contidos. Sendo assim, suas proporções são muito importantes e determinam várias propriedades ecológicas do solo, por exemplo, a movimentação da água (JONG VAN LIER, 2014). A importância relativa desses conjuntos de poros depende, dentre outros fatores, do tipo de cultivo, das condições climáticas, da posição do lençol freático, possibilidade de irrigação e controle ambiental (NADERI-BOLDAJI; KELLER, 2016; ZANGIABADI et al., 2017).

2.4.3. Estabilidade de agregados

Um agregado do solo é um grupo de duas ou mais partículas primárias do solo que são coesas umas com as outras, mais do que com as outras partículas vizinhas de solo (KEMPER; ROSENAU, 1986; NIMMO; PERKINS, 2002; VAEZI; ESLAMI; KEESSTRA, 2018; YE et al., 2018).

A análise da estabilidade de agregados é a avaliação da distribuição de agregados por tamanho. Essa é importante pelo fato de que o tamanho do agregado determina a sua suscetibilidade ao movimento pela água e vento, sendo também significativo na determinação do espaço poroso em solos cultivados (FERREIRA, 2010).

O início da formação dos agregados está ligado à flocculação de alguns coloides, que se juntando a algumas partículas primárias de silte e areia formam microagregados. Esses microagregados podem ser envolvidos por agentes cimentantes, como a matéria orgânica, um dos principais agentes cimentantes para os agregados do solo, minerais de argila, compostos de ferro, carbonatos e sílica coloidal, entre outros (LEPSCH; MENK; OLIVEIRA, 2014).

A análise da agregação do solo é importante para uma gama de aplicações. Ao estudar a estabilidade e a distribuição dos agregados do solo, podem-se avaliar os efeitos de várias técnicas agrícolas, assim como a suscetibilidade do solo à erosão pelo vento e pela água (NACINOVIC; MAHLER; AVELAR, 2014; NIMMO; PERKINS, 2002).

O tamanho e o grau de desenvolvimento dos agregados do solo são indicadores dos processos de degradação do solo, pois influenciam em fatores como infiltração, retenção de água, aeração, resistência à penetração de raízes, selamento e encrostamento superficial, e erosão hídrica e eólica (LEPSCH; MENK; OLIVEIRA, 2014).

O estado de agregação e o tamanho dos agregados do solo podem ser determinados de diversas formas. Segundo Kemper e Chepil, 1965; Kemper e Rosenau, 1986; Nimmo e Perkins, (2002), podem ser utilizados como parâmetros o Diâmetro Médio Ponderado (DMP) e o Diâmetro Médio Geométrico (DMG). O DMP é tanto maior quanto maior for a porcentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores; o DMG representa uma estimativa do tamanho da classe de agregados de maior ocorrência. A presença de agregados grandes indicada pelo DMP pode refletir a resistência do solo à erosão (CARVALHO et al., 2014; CASTRO FILHO; MUZILLI; PODANOSCHI, 1998; FILHO et al., 2012; NASCENTE; LI; CRUSCIOL, 2015).

A agregação do solo analisada pela estabilidade de agregados via úmida vem mostrando forte correlação com valores de erodibilidade. Essa relação ocorre porque, quanto maior o agregado, maiores serão o DMP e os espaços porosos entre agregados, aumentando a infiltração e diminuindo a erosão (ANGULO; ROLOFF; SOUZA, 1984).

A matéria orgânica do solo é uma das principais responsáveis pela formação e estabilização dos agregados do solo (BRADY; WEIL, 2010; CASTRO FILHO; MUZILLI; PODANOSCHI, 1998; FERREIRA, 2010; LUNA et al., 2016; TSIAFOULI et al., 2015) As substâncias orgânicas, especialmente as húmicas, formam um filme sobre as partículas de solo, cimentando-as em agregados estáveis. Os microagregados são mantidos e unidos por materiais orgânicos persistentes, enquanto os macroagregados são formados e estabilizados por materiais temporários, como raízes de plantas (COSTA et al., 2012).

2.4.4. Microbiologia e Carbono no solo

Os bioindicadores de qualidade de solo denotam atenção especial, pelo fato de os microrganismos serem responsáveis por diversos processos e funções, como a decomposição de resíduos, ciclagem de nutrientes, síntese de substâncias húmicas, e agregação de partículas do solo (BURNS et al., 2013; KUWANO et al., 2014; NUNES et al., 2012).

Santos e Maia (2015) ressaltam a importância dos microrganismos do solo e sua ação determinantes na ciclagem de nutrientes e nas transformações da matéria orgânica, como indicadores biológicos, respondendo rapidamente às mudanças impostas ao solo, naturais ou antrópicas, constituindo importante ferramenta indicadora de qualidade do solo.

Um dos melhores indicadores de qualidade do solo é a matéria orgânica pelo fato de que esse atributo se relaciona com inúmeras características físicas, químicas e biológicas. Desse modo, a quantificação e a determinação da qualidade da matéria orgânica são fundamentais para determinar a qualidade do solo (BRADY; WEIL, 2010).

A avaliação das propriedades biológicas do solo se adequa à maioria dos critérios de um indicador de qualidade de solo (DORAN; ZEISS, 2000), apesar desse componente ter sido ignorado em muitos estudos. A capacidade de responder rapidamente às mudanças no solo e o fato da atividade microbiana do solo refletir a influência conjunta dos fatores responsáveis pela degradação da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes (BEHERA; SAHANI, 2003; CORTEZ et al., 2014; ZHANG et al., 2016) justifica o uso de microrganismos e processos microbiológicos para estudar a qualidade do solo.

A microbiota do solo apresenta grande potencial de utilização em estudos da qualidade edáfica, pois os microrganismos constituem fonte e depósito de nutrientes em todos os ecossistemas; além disso, participam ativamente em processos benéficos como a estruturação do solo, a formação do húmus, a solubilização de nutrientes para as plantas e a degradação de compostos persistentes aplicados ao solo (CARVALHO, 2016; GAMA-RODRIGUES; FORESTIERI DA GAMA-RODRIGUES; BRITO, 2007; KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010).

As propriedades microbiológicas têm sido amplamente discutidas na literatura como indicadores de qualidade (BENEDUZI et al., 2013; KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010; LISBOA et al., 2014; ZHANG et al., 2007) dado o relacionamento entre atividade e diversidade microbiana, vegetação e sustentabilidade dos ecossistemas (DORAN, 1996).

O funcionamento microbiológico e bioquímico do solo tem sido frequentemente proposto como indicador sensível de estresse ecológico ou dos processos de restauração dos solos tanto em ambientes naturais como em agroecossistemas (BADIANE et al., 2001; SIMÕES et al., 2010). A análise desses indicadores pode fornecer informações importantes sobre o desempenho de funções-chave do solo (CHAER et al., 2009; LISBOA et al., 2012). Entre os indicadores comumente utilizados para avaliação do funcionamento microbiológico do solo destacam-se o carbono da biomassa microbiana, o CO_2 e a atividade de enzimas do solo (SCHLOTTER et al., 2018). Além desses, existe a relação carbono da biomassa microbiana/ carbono orgânico, definido por quociente microbiano, e o quociente metabólico, que compreende a relação respiração/ biomassa (ANDERSON; DOMSCH, 1985; CARDOSO et al., 2013). O quociente metabólico, expresso em quantidade de CO_2 liberado pela quantidade de carbono da biomassa em função do tempo, representa a taxa de respiração específica da biomassa microbiana. Altos valores do $q\text{CO}_2$ significam que a população microbiana está oxidando carbono de suas próprias células (respiração de manutenção dos microrganismos vivos) para a sua manutenção e adaptação ao solo, portanto, a população microbiana se encontra em condições adversas ou estressantes (ANDERSON; DOMSCH, 1993; FRANCHINI et al., 2007; ISLAM; WEIL, 2000).

Aguirre-Salado et al. (2014), ressaltam a importância do monitoramento da biomassa e dos estoques de carbono e a presença cada vez mais frequente deste item compondo parte importante da pesquisa científica, nos mais diversos ambientes florestados, a medida que as negociações sobre mudanças climáticas avançam.

2.4.5. pH e Salinidade

A salinização do solo é o processo de enriquecimento do solo com sais solúveis que resultam na formação do solo prejudicado pelo excesso de sal. Os efeitos adversos da salinidade sobre as plantas são devidos, principalmente, ao aumento do potencial osmótico do solo e toxidez resultante da concentração salina e de íons específicos (PEREIRA, 1982). Em áreas irrigadas, a salinidade do solo configura um problema para a agricultura. A salinidade comumente ocorre em solos irrigados devido ao acúmulo de sais solúveis resultantes do uso contínuo de águas de irrigação contendo alta ou média quantidade de sais dissolvidos (ALLBED; KUMAR, 2013).

As condições de solo salino resultaram na redução do valor e da produtividade de áreas consideráveis de terra em todo o mundo (ASFAW; SURYABHAGAVAN; ARGAW, 2016; ELHAG; BAHRAWI, 2017). Solos salinos e sódicos ocorrem normalmente nas regiões áridas e semiáridas, em decorrência das condições climáticas. Águas de rios, barragens e poços contendo sais dissolvidos, em diferentes proporções, quando usadas na irrigação, provocam a lixiviação de sais para horizontes inferiores, os quais, depois ascendem até a superfície em consequência do processo de evaporação, ou podem ser eliminados através da drenagem (RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2010).

Zewdu et al. (2016), afirmam que a salinidade do solo também é um problema sério em áreas onde a água subterrânea com alto teor de sal é usada para irrigação. A salinidade do solo resulta na limitação dos padrões de uso da terra agrícola. É um grave risco ambiental que afeta o crescimento de muitas culturas. As áreas afetadas por sais, em média, representam 20% das terras irrigadas do mundo, enquanto nos países áridos e semiáridos esse número aumenta para mais de 30%. Essa situação é notada no Nordeste brasileiro, onde 1/3 dos perímetros irrigados apresenta problemas de solos afetados por sais (LOPES et al., 2008; NWER; ALI; ZURQANI, 2013).

Silva et al. (2012), ressaltam que o monitoramento periódico do pH, da salinidade e de alguns nutrientes na solução do solo, através da extração da solução do solo configura uma boa alternativa para que se evitem prejuízos no desenvolvimento das culturas. No Quadro 1, estão os valores de referência para a classificação dos solos quanto à salinidade.

Quadro 1 - Valores utilizados para a classificação dos solos quanto à salinidade em função do pH, condutividade elétrica do extrato de saturação (CEe) e porcentagem de sódio trocável (PST)

Classificação	CE_{es} (dS m⁻¹ à 25 °C)	PST (%)	pH_{ps}
Solos sem problemas de sais	< 4	< 15	< 8,5
Solos salinos	> 4	< 15	< 8,5
Solos salino-sódicos	> 4	> 15	≥ 8,5
Solos sódicos	< 4	> 15	≥ 8,5

Fonte: (RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2010; RICHARDS, 1954)

A salinização do solo é um dos processos mais comuns de degradação da terra, especialmente em regiões áridas e semiáridas, onde a precipitação excede a evaporação. Sob tais condições climáticas, os sais solúveis são acumulados no solo, influenciando as propriedades do solo com o declínio final na produtividade (ASFAW; SURYABHAGAVAN; ARGAW, 2016).

O potencial de hidrogênio (pH) é também um importante indicador de qualidade do solo, devido à sua relação estreita com o desenvolvimento dos vegetais superiores. O pH influencia a solubilidade, a concentração em solução e a forma iônica dos nutrientes no solo, tendo impacto na absorção e utilização desses nutrientes pela planta (MCBRIDE; BLASIAK, 1979). Diversos estudos encontrados na literatura descrevem a influência do pH do solo na produção agrícola, demonstrando sua importância como propriedade química do solo (ARAÚJO et al., 2018b; CALEGARI et al., 2013; GOMIERO, 2016; MOREIRA; FAGERIA, 2010).

2.5. Semiárido Brasileiro

O Semiárido brasileiro é uma região presente em oito estados do Nordeste brasileiro, sendo formado por 100 milhões de hectares onde vivem aproximadamente 30 milhões de pessoas, designando-a como a região seca mais densamente povoada do mundo (IBGE, 2018; REGO, 2012). Possui uma instabilidade climática típica, influenciada mais pela irregularidade das chuvas do que por sua escassez; precipitações pluviométricas distribuídas entre três a cinco meses, numa amplitude que varia, em média, de 250 a 800 mm anuais; e elevadas taxas

de evapotranspiração, em média 2000 mm/ano, o que proporciona déficit de umidade no solo durante a maioria dos meses do ano (FRANCISCO, 2013).

O semiárido brasileiro é um dos maiores do planeta, abrangendo o norte dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, os sertões da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e uma parte do sudeste do Maranhão (ALVALÁ et al., 2017). A vegetação de Caatinga recobre a região semiárida brasileira, com extensão territorial de aproximadamente 800.000 km², compreendendo cerca de 80% do Nordeste brasileiro e 11% do território nacional (SANTOS et al., 2012).

O semiárido brasileiro apresenta condições climáticas marcantes com precipitações pluviométricas irregulares associadas a altas temperaturas durante boa parte do ano. Além dessas características o relevo é irregular, os solos são rasos, pedregosos, com média a alta fertilidade e baixo teor de matéria orgânica. A região semiárida brasileira enfrenta problemas de gestão de recursos hídricos, o que, em grande medida, inviabiliza o acesso e uso satisfatório aos mesmos, principalmente no instante em que a mercantilização da água assume uma grande proporção. Algumas regiões são afetadas pela falta de água de qualidade, forçando as pessoas beberem água salobra (DE SOUZA FILHO et al., 2017; EGITO et al., 2016).

A agricultura realizada pela maior parte dos pequenos produtores do semiárido brasileiro tem como particularidade um baixo nível tecnológico, e as práticas agrícolas tradicionais são as predominantes nos sistemas de cultivos. A minoria dos agricultores dessa região utiliza as inovações tecnológicas que podem garantir um aproveitamento mais racional dos recursos disponíveis em suas propriedades (CARVALHO et al., 2017).

2.6. Diagnóstico Rural Participativo

A realização de diagnósticos da situação das famílias no meio rural possibilita a obtenção de informações importantes sobre a dinâmica e o funcionamento da propriedade e suas necessidades. Esse levantamento possibilita registro e ações efetivas nos aspectos mais relevantes para cada família, algo de grande utilidade no Semiárido nordestino (CARVALHO; ALVES; FERREIRA, 2015). Dentre os métodos participativos para realização de diagnósticos do desenvolvimento no meio rural, destaca-se o Diagnóstico Rural Participativo (DRP) como um instrumento metodológico a partir do qual é possível analisar questões ambientais, sociais, econômicas, políticas e culturais de comunidades rurais, visando

o desenvolvimento local, através de um processo de intercâmbio de aprendizagem entre os agentes externos (técnicos) e os membros da comunidade na qual se realiza (PIMENTEL et al., 2016).

Verdejo (2006) define o DRP como um conjunto de técnicas e ferramentas que permite que as comunidades façam o seu próprio diagnóstico e a partir daí comecem a auto gerenciar o seu planejamento e desenvolvimento. Os diagnósticos participativos contribuem para o conhecimento e análise da realidade local, de acordo com a percepção de cada morador, sem prevalecer somente a opinião do órgão externo, daí o caráter participativo do diagnóstico. Por isso, o DRP pode ser utilizado como alternativa para propiciar mudanças, pelo seu poder de mobilização e envolvimento dos participantes com os questionamentos apresentados (PAREYN, 2010).

Menezes et al. (2011) destacam o respeito ao ponto de vista dos agricultores, quando o diagnóstico realizado é do tipo participativo, sendo nesse caso, os agricultores os maiores analistas de sua própria realidade. Os autores defendem ainda a utilização do DRP em pesquisas e estudos que objetivam captar a percepção dos agricultores e agricultoras de sua realidade e suas potencialidades e necessidades locais.

Existem muitas ferramentas para a realização de um diagnóstico participativo, dentre elas destacamos a entrevista semiestruturada à linha do tempo. A entrevista semiestruturada consiste em uma conversa informal, na qual são levantadas informações sobre a família, sobre os sistemas de produção adotados, relacionamento com o meio natural, comercialização dos produtos, principais problemas enfrentados, sonhos para o futuro, entre outras. O entrevistador se apresenta à família, contextualiza o objetivo do diagnóstico e procura conhecer a realidade, utilizando um roteiro que conduz a conversa. O roteiro serve para orientar a conversa, mas não deve limitá-la.

A técnica de entrevista semiestruturada busca evitar alguns dos efeitos negativos dos questionários fechados, onde não há possibilidade de explorar outros temas e há pouco espaço para o diálogo (GUIMARÃES; LOURENÇO; LOURENÇO, 2007). A partir da entrevista semiestruturada pode ser traçada uma linha do tempo para a família.

A linha do tempo é uma narrativa que relembra fatos e momentos da história do lugar, da comunidade, da família. Para a construção da linha do tempo, podem ser feitas entrevistas com os mais antigos, procurando-se por fotos e filmes que retratem a história do lugar, jornais antigos, entre outros. Para montar a linha do tempo é traçada uma linha, e ao conversar com os participantes, os principais fatos que aconteceram são marcados ao longo da linha. A linha pode ser horizontal ou pode representar altos e baixos (momentos bons ou ruins) dos fatos

apontados. Com esta prática, as pessoas tomam consciência de sua história, contextualizam sua atuação e compartilham suas experiências (COSTA et al., 2013).

2.7. Tecnologias sociais alternativas e Convivência com o déficit hídrico

Em virtude de que em muitas regiões a demanda de água excede a quantidade disponível, especialmente nas regiões de clima semiárido que representam quase um terço da superfície terrestre, onde abrigam cerca de um bilhão de pessoas e são responsáveis por quase 20 % da produção mundial de alimentos, nos últimos anos tem-se observado o desenvolvimento ou aprimoramento de tecnologias referentes ao manejo de recursos hídricos. Dentre elas pode-se destacar a exploração racional dos aquíferos aluviais que, no estágio atual de necessidades de água para a região, são tão importantes quanto os grandes aquíferos (CIRILO, 2008).

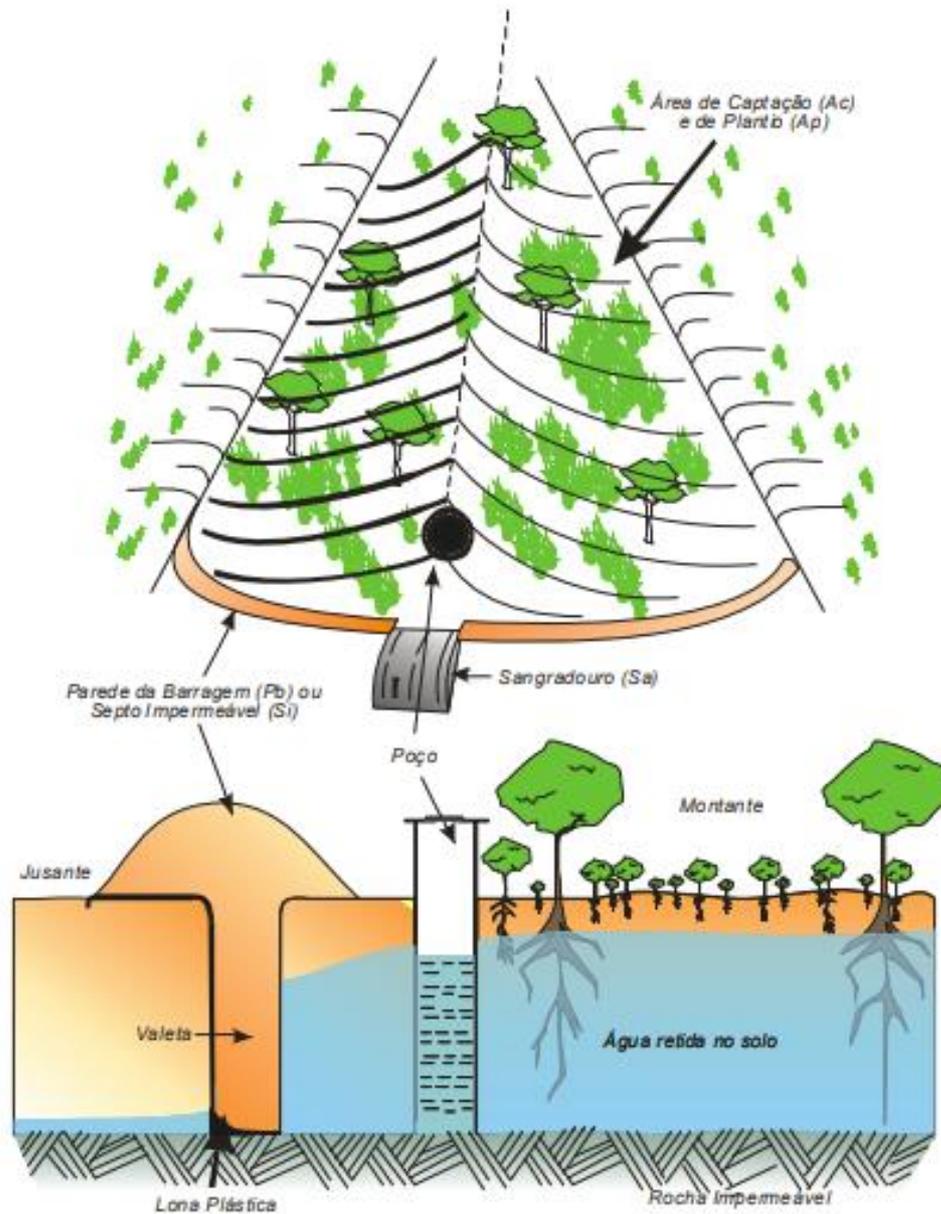
Existem tecnologias alternativas eficientes que podem ser utilizadas por agricultores em suas propriedades, garantindo a disponibilidade e qualidade de água sendo fundamentais para o desenvolvimento da agricultura familiar. Essas tecnologias foram desenvolvidas para assegurar uma maior disponibilidade de água para o consumo humano e possibilitar que a produção de alimentos seja eficiente na região semiárida brasileira. Dentre as tecnologias que tratam especificamente do melhor aproveitamento e uso da água, estão as cisternas de placas e de polietileno, os destiladores solares, as fossas sépticas, o bioágua e as barragens subterrâneas.

2.8. Barragem subterrânea

Uma tecnologia que contribui com a redução dos efeitos negativos dos longos períodos de estiagem e com baixas taxas de evaporação, além de um grande potencial para armazenar água dentro do solo, é a barragem subterrânea (Figura 1). Esse barramento armazena água dentro do solo com perdas mínimas de umidade (evaporação lenta), mantendo o solo úmido por um período maior de tempo. (DA SILVA et al., 2007; MOHN et al., 2012). A barragem subterrânea é uma tecnologia social de baixo custo e de processo simples de construção e operação. Como definido por Carvalho, (2016) e França et al. (2016), a construção da barragem subterrânea consiste em escavar o depósito aluvial contido na calha do rio ou riacho, transversal à direção de escoamento do curso d'água até o embasamento

crystalino, fazendo a impermeabilização da vala. A tecnologia usada é simples e de baixo custo, se comparada à construção de barragens superficiais, permitindo um aproveitamento mais racional da água contida em aluviões (CANTALICE et al., 2016; NASCIMENTO et al., 2017).

Figura 1 - Desenho esquemático do funcionamento e corte transversal da barragem subterrânea.



Fonte: SILVA et al. (2007).

As experiências com barragem subterrânea no Nordeste do Brasil começaram no início da década de 80, por dois grupos de pesquisa, o grupo da Embrapa Semiárido e o grupo da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Uma das experiências bem sucedidas é o da Fazenda Pernambucana, no município de São Mamede, Estado da Paraíba, que produz manga irrigada em escala comercial para a Europa (COSTA, 2002). Outras experiências muito bem sucedidas são encontradas no Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Sergipe, Piauí, Alagoas e Bahia. Em Minas Gerais há, também, muitas experiências de sucesso com barragens subterrâneas, principalmente no Vale do Jequitinhonha que está situado na região Nordeste do Estado e é marcado pela forte presença da agricultura familiar (BENDER; WAGG; VAN DER HEIJDEN, 2016; CANTALICE et al., 2016; FREITAS et al., 2011; MOHN et al., 2012; NISHIGAKI; KANKAM-YEBOAH; KOMATSU, 2004).

Apesar do aumento significativo do número de barragens subterrâneas construídas em todos os estados nordestinos, ainda existe carência de informações técnico-científicas relacionadas à qualidade do solo e da água, em áreas de plantio em barragens subterrâneas, que subsidiem um manejo mais adequado destes dois recursos naturais, visando a maior eficiência da tecnologia. Dentre os fatores que dificultam o acesso às tecnologias sociais, a difusão da informação e a carência de gestores do conhecimento são alguns dos mais limitantes, pois diminuem a velocidade com que o conhecimento atinge populações rurais mais carentes. Além disso a não universalização dessas tecnologias, acaba por torná-las muitas vezes inacessíveis aos agricultores que delas necessitam (ANJOS, 2016; CAMPOS, 2014; CIRILO, 2008; MACHADO; DIAS; DA SILVA, 2017).

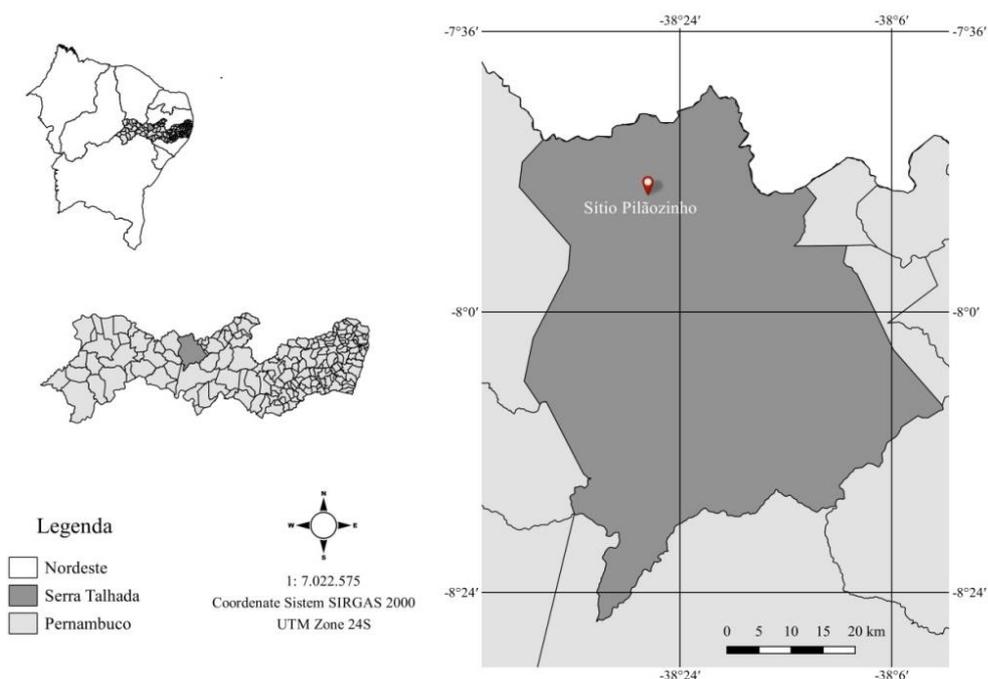
3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho busca realizar uma análise da qualidade do solo em um ambiente de barragem subterrânea no semiárido pernambucano. A propriedade foi escolhida em virtude da presença de uma barragem subterrânea em uso e da variedade de ambientes ao longo da propriedade, desde áreas com evidências de degradação de solo, como processos erosivos avançados e ausência da cobertura vegetal, até áreas conservadas de vegetação de caatinga, incluindo áreas de cultivo.

3.1. Características gerais da região

A área de estudo está localizada no município de Serra Talhada no estado de Pernambuco, Brasil. Serra Talhada (Figura 2) está localizado na Mesorregião do Sertão Pernambucano, Microrregião do Pajeú, a 415 quilômetros do Recife, a uma altitude de 429 metros. A área municipal é de 2980 km². De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), o município tem uma população de 83.712 habitantes, com uma densidade demográfica de 26,59 hab./km² (IBGE, 2018).

Figura 2- Mapa do estado de Pernambuco, destacando o município de Serra Talhada, pontuando o local da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

3.1.1. Clima

De acordo com a classificação de Köppen (KÖPPEN; GEIGER, 1936) o clima regional no local é BShw (semiárido). O verão apresenta máximas de 35 °C e mínimas de 20 °C, sendo este o período mais chuvoso. O inverno é ameno, com máximas entre 26 °C e mínimas entre 17 °C.

A precipitação média anual é de aproximadamente 685 mm, com uma estação chuvosa que inclui os meses de janeiro a abril. A temperatura média diária do ar é de 25,2 °C e a evapotranspiração potencial é de aproximadamente 1500 mm por ano (SOUZA et al., 2015).

3.1.2. Vegetação e solo

A vegetação é basicamente composta por Caatinga hiperxerófila, com trechos de floresta caducifólia (DE FARIAS et al., 2016).

Com respeito aos solos, nos patamares compridos e baixas vertentes do relevo suave ondulado ocorrem os Planossolos, mal drenados, fertilidade natural média e problemas de sais; nos topos e altas vertentes, ocorrem predominantemente os solos Brunos não Cálcidos (Luvissolos), rasos e drenados, com fertilidade natural média a alta; nos topos e altas vertentes do relevo ondulado ocorrem os Podzólicos, drenados e com fertilidade natural média e nas elevações residuais ocorrem os solos Litólicos, rasos, pedregosos e com fertilidade natural média, e os planossolos (DA SILVA et al., 2001; DE FARIAS et al., 2016; JACOMINE et al., 1973).

3.1.3. Relevo

O município de Serra Talhada, está inserido na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja que representa a paisagem típica do semiárido nordestino, caracterizada por uma superfície de pediplanação bastante monótona, relevo predominantemente suave-ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas. Elevações residuais, cristas e/ou outeiros pontuam a linha do horizonte. Esses relevos isolados testemunham os ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte do sertão nordestino (DE FARIAS et al., 2016; JACOMINE et al., 1973)

3.2. Descrição da barragem subterrânea em estudo

A área da barragem subterrânea mostrada na Figura 3, localiza-se no município de Serra Talhada - PE, (coordenadas geográficas 7° 49' 14,14"S e 38° 26' 44,35" W) numa propriedade particular pertencente ao senhor Manuel. O agricultor informou que a barragem em questão foi construída a cerca de dez anos, e tem estado em atividade desde então.

Figura 3 - (a) área barragem subterrânea mantendo a plantação verde mesmo no período seco do ano. (b) Sr. Manuel e família, proprietários.



Fonte: Fotos por Dra. Maria Sonia Lopes da Silva

A propriedade está inserida na Depressão Sertaneja, apresenta relevo predominantemente suave-ondulado, solos rasos, precipitação pluvial baixa e mal distribuída, com baixo e muito baixo potencial de águas subterrâneas (SILVA, 1993).

A propriedade rural em questão já recebeu algumas intervenções da EMBRAPA Solos UEP, Recife - PE. Nascimento et al. (2015) realizaram a caracterização geoambiental da barragem, como parte do projeto que promoveu e estudou propriedades com barragens subterrâneas no Semiárido nordestino. A barragem do presente estudo apresenta área útil de 0,40 ha, em terreno com declividade de 1,3 %, área de captação de 90,0 ha, perímetro da área de captação com 3,7 km, altitude de 536 m e declividade longitudinal de 1,3%.

O solo na barragem subterrânea em estudo foi classificado como Neossolo Flúvico Ta Eutrófico típico A moderado, com textura areia/franco-arenosa/areia-franca, sendo a vegetação Caatinga Hiperxerófila e o relevo plano.

3.3. Avaliação da sustentabilidade sócio, econômica e ambiental

Foi realizado um Diagnóstico Rural Participativo (DRP), tendo como base um relato feito pela família proprietária. Utilizando entrevistas semiestruturadas realizadas com os proprietários, foi possível se observar a trajetória desenvolvida pela família e o histórico da propriedade em que estão assentados. As entrevistas que originaram o relato foram realizadas em abril de 2017, durante as visitas em campo para coleta de amostras de solo.

Por meio dos temas propostos na entrevista semiestruturada, foi possível estabelecer um diálogo onde a família sentiu-se à vontade para aprofundar sobre os temas questionados e outros temas que achou importante ressaltar no momento. Os diálogos contínuos durante o período de estadia na propriedade permitiram a construção e o aprofundamento sobre a influência das barragens subterrâneas e de outras tecnologias de captação e armazenamento de água da chuva no sistema de produção e no desenvolvimento da família como um todo.

Através deste diagnóstico foram obtidos dados sobre a evolução e a dinâmica do sistema como um todo, o que pode subsidiar a construção de indicadores para a avaliação da sustentabilidade do agroecossistema pelos agricultores, como proposto por (FREITAS et al., 2016).

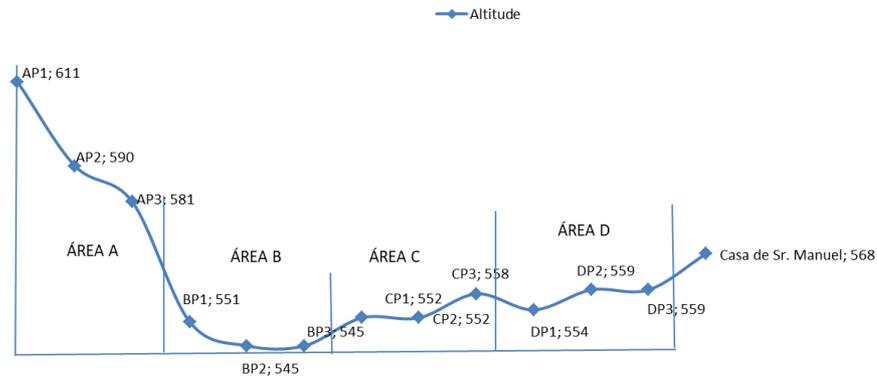
3.4. Avaliação da qualidade do solo

3.4.1. Amostragem e coleta

Ao longo da propriedade foram definidas quatro áreas de coleta, como mostra a Figura 4. Em cada uma das áreas foram amostrados três pontos, em duas profundidades (0,0 m - 0,10 m e 0,20 m - 0,30 m) formando uma malha irregular de amostragem com 24 pontos.

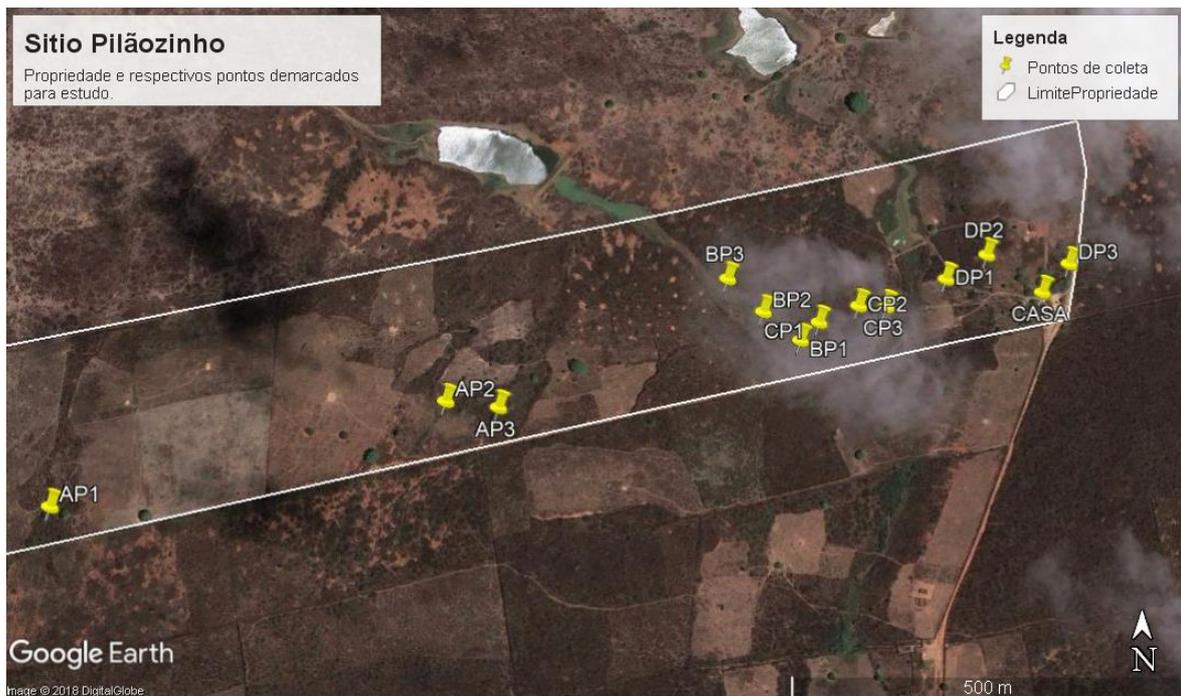
As coletas de solo realizaram-se no mês de abril de 2017, em 12 pontos principais ao longo da propriedade como pode ser visualizado na imagem de satélite da Figura 5. Procurou-se dessa maneira compreender o estado do solo através da investigação da camada superficial, mais suscetível aos processos de degradação, assim como de uma das camadas mais internas do solo.

Figura 4- Esquema do perfil do terreno, ilustrando as áreas e pontos de coleta das amostras em função da altitude



Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

Figura 5 - Pontos de coleta de solo



Fonte: Google Maps (2018)

A área A caracteriza-se por ser uma área em elevado estado de degradação, com presença de solo exposto, sem a presença do horizonte A e com sulcos de erosão. Os sulcos de erosão têm profundidade média de 1,60 m, sendo cerca de 1,0 m de solo arenoso e 0,60 m do horizonte C de arenito. O histórico da área, informado pelo proprietário, evidencia que antes de 1985, ano em que ocorreram chuvas com forte intensidade, as áreas hoje degradadas eram preparadas com o uso de máquinas agrícolas para o plantio de milho, mamona, algodão

e feijão. A partir desse período foram formados os sulcos de erosão, que hoje são deixados com vegetação nativa. Nessa área, os três pontos de coletas se deram em terço médio de encosta, em relevo ondulado, no interior de sulcos onde se encontra formação vegetal com as seguintes espécies: marmeleiro (*Cydonia oblonga*), canafístula (*Peltophorum dubium*), juazeiro (*Ziziphus joazeiro*), catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), umburana (*Commiphora leptophloeos*), jurema (*Mimosa tenuiflora*), pau-ferro (*Libidibia ferrea*), angico (*Anadenanthera macrocarpa*) e maniçoba (*Manihot caerulescens*) (Figura 6).

Figura 6 - (a) - vista da área mais elevada da propriedade, denominada aqui área A; (b) detalhe do aspecto do solo encontrado no local; (c) sulco de erosão, com presença de vegetação, onde foram realizadas as coletas nesta área.



Fonte: A autora (2017)

A área B constitui-se no local onde foi construída a barragem subterrânea da propriedade. No período da coleta o agricultor utilizava a área da barragem para o cultivo de capim elefante, feijão e jerimum. Nessa área as coletas seguiram a direção do fluxo do lençol freático, sendo realizadas em três pontos ao longo da barragem.

Na área C está presente a vegetação do tipo Caatinga arbóreo-arbustiva. Do mesmo modo que nas áreas anteriores, as coletas foram realizadas em três pontos. Uma característica marcante deste local foi a presença de pedras na superfície do solo, o que chegou a dificultar a coleta de material (Figura 7).

Figura 7 - Coleta de solo na área C. A grande quantidade de rochas na superfície do solo é uma característica peculiar desta área.



Fonte: A autora (2017)

Na área D os três pontos de coleta situaram-se em um campo de feijão (Figura 8) e numa área localizada ao lado da casa da família do agricultor.

Figura 8 - Coleta de amostras de solo num campo de feijão, na área D da propriedade rural.



Fonte: A autora (2017)

3.4.2. Pré-tratamento (preparo das amostras de solo)

As amostras foram coletadas e acondicionadas em sacos plásticos identificados. Para as investigações de microbiologia e carbono, as amostras foram mantidas congeladas até a

realização das análises. Para as demais características analisadas, foi coletada uma quantidade satisfatória de solo e realizados os procedimentos necessários para cada análise.

3.4.3. Características físicas do solo

As análises físicas foram realizadas no Laboratório de Física do Solo pertencente ao Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Os métodos para determinação da densidade do solo (D_s), densidade da partícula (D_p) e argila dispersa em água foram realizados segundo a Embrapa (1997) e a separação granulométrica das frações areia, silte e argila do solo foi elaborada como recomendado por Ruiz (2005). Os valores da relação silte/argila e porosidade total foram calculados.

3.4.3.1. Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada após dispersão da amostra com uma solução de Calgon (Carbonato de sódio + hexametáfosfato de sódio), adicionada à 150 g da amostra de TFSA (Terra Fina Seca ao Ar). Tal mistura ficou em repouso por 24 horas e posteriormente as amostras foram colocadas em um agitador tipo Wagner, onde passaram 16 horas em agitação lenta (50 rpm). Depois disso, a areia foi separada com auxílio de peneira com malha de 0,053 mm. As frações silte e argila, com o dispersante, foram postas em provetas de 1 litro até o volume de 960 ml e em seguida esta suspensão foi agitada e por fim, após 24 horas, foram medidas a densidade e a temperatura das amostras com auxílio de um densímetro e um termômetro digital, respectivamente. A massa da fração silte foi determinada por diferença entre a massa total das amostras e a massa de areia e argila.

Após a obtenção dos resultados, foram definidas as classes texturais dos solos de acordo com o Soil Taxonomy utilizando-se o triângulo textural proposto pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2014). A relação silte/argila foi calculada dividindo-se os valores percentuais das massas das frações silte / frações argila, sendo o valor adimensional obtido através da fórmula:

$$m_{\text{(silte)}} / m_{\text{(argila)}} \quad (01)$$

Onde: $m_{\text{(silte)}}$ = Massa da fração silte (g)

$m_{\text{(argila)}}$ = massa da fração argila (g)

3.4.3.2. Densidade do solo

A amostra de solo contida no anel foi seca em estufa de 105 °C por 24 horas e em seguida pesada. Com os resultados obtidos das massas e dos volumes, calculou-se a densidade do solo em ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) por meio da seguinte fórmula:

$$D_s = M_s / V_s \quad (02)$$

Onde: D_s : densidade do solo ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)

M_s = Massa do solo (g);

V_s = Volume do solo.

3.4.3.3. Densidade da partícula

A densidade das partículas do solo foi determinada em laboratório, pelo método do balão volumétrico, recomendado pela Embrapa (1997), onde as amostras de pesos conhecidos foram levadas à estufa a 105 °C, onde permaneceram por 12 horas, sendo em seguida novamente pesadas. Foram transferidas então para um balão de 50 ml, onde foi adicionado álcool etílico e agitado o balão para eliminação de bolhas. Após a ausência das bolhas o volume do balão foi completado. Em seguida, foi possível determinar a diferença do volume do álcool utilizado e o volume do balão. O cálculo para obtenção do resultado foi o seguinte:

$$D_p (\text{g cm}^{-3}) = \text{peso da amostra seca a } 105 \text{ }^\circ\text{C} / (50 - \text{volume de álcool gasto}). \quad (03)$$

Onde: D_p : Densidade das partículas do solo ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)

3.4.3.4. Estabilidade de agregados via úmida

A análise da estabilidade de agregados foi feita através do método de peneiramento com um aparelho de oscilação vertical do tipo Yooder, disponibilizado pelo Laboratório de Física do Solo da UFRPE. Utilizou-se o método proposto por Kemper e Rosenau (1986) com alterações. O equipamento citado compõe-se de três recipientes cilindros, composto cada um por um conjunto de peneiras com as malhas: 2,00, 1,00, 0,5, 0,25 e 0,125 mm (Figura 9).

Figura 9 - Aparelho de oscilação vertical do tipo Yooder para realização do teste de estabilidade de agregados via úmida



Fonte: A autora (2018)

A amostra de solo desestruturada foi passada em peneira com malha de 8 mm e retida na de malha de 4,76 mm; do material retido foram pesados 50 g em duplicata e o restante armazenado. Uma das amostras foi colocada em lata de alumínio de peso conhecido para secar em estufa a 105 °C para determinação do peso da massa de solo seco. A outra amostra foi colocada em prato de plástico forrado com papel e saturada por capilaridade.

No dia seguinte, a amostra foi colocada na parte superior do conjunto de peneiras, sendo o nível da água ajustado de modo que os agregados contidos na peneira superior fossem umedecidos. Os agregados foram submetidos a uma oscilação vertical de 10 minutos com uma frequência de 30 oscilações por minuto (KEMPER; ROSENAU, 1986). Depois da oscilação, o conjunto de peneiras foi retirado e o material colocado em latas de alumínio e encaminhadas para uma estufa a 105 °C para secar por 24 horas. Posteriormente, determinou-se o peso seco para definição das classes de agregados estáveis em água.

Utilizaram-se os pesos obtidos para o cálculo do diâmetro médio ponderado (equação 4) e do diâmetro médio geométrico (equação 5):

$$DMP = \sum_{i=1}^n x_i \times w_i \quad (4)$$

Fonte: Souza (2015).

Onde: DMP - diâmetro médio ponderado (mm); X_i - diâmetro médio das classes (mm); W_i - proporção de cada classe em relação ao total.

$$DMG = \exp \frac{\sum_{i=1}^n wp \times \log x_i}{\sum_{i=1}^n wp} \quad (5)$$

Fonte: Souza (2015).

Onde: DMG - diâmetro médio geométrico (mm); w_p - peso dos agregados de cada classe (g); X_i - diâmetro médio das classes.

3.4.3.5. Determinação da condutividade elétrica do solo

A determinação da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEe) foi realizada por meio da relação do extrato solo/água 1:2,5. Para isto, pesaram-se 50 g de TFSA em recipientes apropriados e adicionados 50 ml de água destilada. Em seguida, foram agitados em agitador tipo Wagner, a 50 rpm, durante 15 minutos. Após este procedimento, as amostras ficaram em repouso durante 60 minutos, e só então se realizou uma nova agitação, pelo mesmo período de tempo. Após a segunda agitação, procederam-se às leituras da condutividade elétrica, utilizando-se condutímetro digital de bancada, previamente calibrado (MOLIN et al., 2005).

3.5. Características químicas do solo

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo da UFRPE, seguindo-se os procedimentos analíticos descritos abaixo, praticados nesse

laboratório, observando-se os procedimentos do Manual de Métodos de Análises de Solos da Embrapa (CLAESSEN et al., 1997), a saber:

a) pH em H₂O - Os valores de pH foram determinados em uma suspensão solo: líquido na proporção de 1:2,5 agitada e deixada em repouso por uma hora. Após uma hora, agitou-se novamente e fez-se a leitura em potenciômetro com eletrodo combinado.

b) Alumínio trocável - Extração com solução KCl 1 mol L⁻¹, na proporção solo:solução de 1:10, e determinação volumétrica com solução de NaOH 0,025 mol L⁻¹ na presença do indicador azul de bromotimol.

c) Acidez potencial (H⁺ + Al³⁺) - Extração com acetato de cálcio tamponado a pH 7,0 e determinado volumetricamente com solução de NaOH 0,0606 mol L⁻¹, na presença de fenolftaleína como indicador.

d) Cálcio e magnésio trocáveis - Cálcio e magnésio foram extraídos com solução de KCl 1 mol L⁻¹, na proporção solo:solução de 1:10, e determinados conjuntamente por compleximetria, utilizando-se o EDTA (ácido etilenodiaminotetracético) 0,0125 mol L⁻¹, como solução titulante.

e) Sódio e potássio trocáveis - Sódio e potássio foram extraídos por meio de extração com Mehlich 1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹), na proporção solo:solução de 1:10 e determinados por fotometria de chama.

f) Fósforo extraível em Mehlich 1 - O fósforo foi extraído com solução de Mehlich 1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹) e determinado por colorimetria, após formação de complexo molíbdico em meio redutor.

Com base nos resultados analíticos foi calculada a soma de bases trocáveis (Valor S) obtidas pela utilização da seguinte fórmula: $S = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+}$.

3.6. Análises biológicas

Amostras de solos para as análises biológicas foram obtidas a partir de amostras compostas, retiradas ao acaso, a uma profundidade de 0,0 m - 0,10 m. Foi estabelecido um círculo, com 1 metro de diâmetro, em cada um dos pontos, sendo coletada uma amostra composta a partir de 5 amostras simples. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em congelador até a realização das determinações.

A taxa de respiração por unidade de biomassa, ou quociente metabólico (qCO₂), foi obtida pela relação entre a taxa de respiração basal, que consiste na medida da produção de C-

CO₂, resultante da atividade metabólica no solo, e da biomassa microbiana (ANDERSON; DOMSCH, 1993). O quociente microbiano (CBM/COT*100) foi calculado para refletir os aportes de carbono e a conversão de substratos orgânicos para o CBM.

3.6.1. Carbono da biomassa microbiana (C-BMS)

O C-BMS foi obtido pelo método da irradiação-extração (MENDONÇA; MATOS, 2005) utilizando-se forno de micro-ondas com potência de 900 W e frequência de 2.450 MHz. Após a irradiação, as amostras foram submetidas ao extrator sulfato de potássio 0,5 mol L⁻¹; a determinação do carbono da biomassa microbiana foi feita por oxidação, com dicromato de potássio 0,066 mol L⁻¹, e a titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,033 mol L⁻¹ calculado seguindo a formulação abaixo.

$$CBMS = (CFI - CNFI) Kc \quad (\text{Equação 1})$$

Onde CBMS corresponde ao carbono presente na biomassa microbiana em µg.g⁻¹,

CFI = carbono na amostra irradiada,

CNFI = carbono na amostra não irradiada;

Kc = fator de correção 0,33.

3.6.2. Respiração basal do solo (RBS)

Para avaliação da respiração basal do solo, as amostras foram incubadas em potes com fechamento hermético, juntamente com solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹.

O C-CO₂ liberado na respiração microbiana foi capturado por NaOH e titulado com HCl 0,25 mol L⁻¹ após 7 dias de incubação conforme Mendonça e Matos (2005).

O cálculo da quantidade de carbono é dado pela expressão matemática abaixo:

$$R = \frac{(B - A) \cdot C \cdot 0,006 \cdot 10^6}{\text{Peso seco do solo}}$$

Onde R = quantidade de CO₂ em µg de CO₂.g solo;

B = média das amostras em branco;

C = Concentração de HCl;

A = Valor da titulação da amostra com NaOH.

O quociente metabólico foi determinado pela relação entre a respiração e a biomassa microbiana (ANDERSON; DOMSCH, 1993).

3.7. Análises estatísticas

A estatística multivariada compreende um conjunto de técnicas que analisam simultaneamente uma gama de variáveis que caracterizam os objetos ou indivíduos de uma amostra (HAIR; RINGLE; SARSTEDT, 2013). Desse modo, para analisar de maneira conjunta um grande número de variáveis e dar a elas um significado objetivo, a análise multivariada apresenta certas vantagens em relação à univariada (JOHNSON; WICHERN, 2002). Algumas das técnicas usadas na análise multivariada de dados, compreende técnicas de avaliação da interdependência como análise de componentes principais (ACP), agrupamentos (AG), fatorial (AF), entre outras (SICARD et al., 2002).

A técnica para análise de componentes principais procurou explicar a estrutura de variâncias-covariâncias por meio de combinações lineares das variáveis originais, cujo objetivo é reduzir os dados e colocá-los numa forma mais adequada para análise por meio de suas tendências para facilitar assim a interpretação. A análise de agrupamento foi realizada com base na similaridade e dissimilaridade agrupando objetos (variáveis) conforme as suas características, verificando se um indivíduo “A” é mais semelhante com “B” do que com “C” (JOHNSON; WICHERN, 2002).

Os dados também foram submetidos à verificação e constatação da distribuição normal e homocedasticidade, premissas da análise de variância. Posteriormente foi realizada a análise de variância (ANOVA) com as médias comparadas pelo teste Duncan a 5% de probabilidade por meio do programa estatístico SAS, versão *Student 2.0*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Relato da trajetória de vida da família – Diagnóstico Rural Participativo

A propriedade foi adquirida por Sr. Manuel por volta de 1970. Na época uma grande parte da área da propriedade já era de cultivo, preservando pouco da vegetação nativa.

Dona Maria do Socorro, hoje com 73 anos, relata que após se casar com Sr. Manuel no ano de 1969, morou na vila de Santa Rita por 1 ano e 4 meses, até que o marido comprou as terras do sítio, com o dinheiro da venda de parte do pequeno rebanho bovino que possuía. Compraram a propriedade de herdeiros, se mudaram para Pilãozinho e construíram a morada no sítio.

Dona Socorro diz se lembrar das datas por ser a época de nascimento do primeiro filho, hoje com 45 anos. Entre o primogênito e a caçula, hoje com 34 anos, o casal teve mais 9 filhos. Onze ao total.

Além do plantio para subsistência, o casal e os filhos pequenos plantavam para comercializar e gerar renda com a venda dos produtos agrícolas, juntamente como a criação de animais. Ela relata que plantavam feijão, milho, algodão, mamona, e que os filhos todos ajudaram.

“Eu mais ele nesse tempo, nós não tinha nada. Tinha só a casinha. Os meninos tudo ajudava, só saíram de casa tudo de maior. Os rapazes e as moças também.”

Da mesma forma que ocorre para a maior parte da população que vive no semiárido, o acesso a água para a produção de alimentos se constitui no fator mais relevante para a vida da família. Dona Socorro lembra de fruteiras fartas presentes nos primeiros anos em que eles estavam na propriedade e fala com tristeza sobre como a falta de água “levou” tudo. Ainda sobre a vida antes da implantação das tecnologias de captação na propriedade, Dona Socorro relata que precisavam buscar água no vila vizinha, Santa Rita.

“Depois que veio tudo isso, melhorou bastante, a gente aqui já passou muita dificuldade. Ia buscar água em Santa Rita de carga. A seca deixa as pessoas tudo desorganizada. Fazendo coisas pra

tentar se manter. Eu mesma achei que melhorou muito”

Dona Socorro

Quanto às tecnologias de captação implantadas na propriedade, além da barragem subterrânea, a família possui uma cisterna calçadão e duas cisternas de placas. Sobre o período quando foram trazidas essas intervenções, ela diz que não se lembra ao certo, mas que faz mais de 10 anos. Ela lembra que a família teve participação ativa nas escolhas e na construção das melhorias para a propriedade.

“A Embrapa e os outros fizeram muitas melhorias aqui, todos ajudaram, Manuel escolheu o local da barragem, ele queria fazer umas hortas”

Dona Socorro

A criação de animais é outro aspecto marcante para a família de Dona Socorro e Sr. Manuel. A criação de vacas possibilitou a compra da propriedade, mas o rebanho não pode ser mantido. A família passou a criar cabras, no começo apenas para tirar leite, atualmente para venda dos filhotes. É interessante ressaltar que o acesso à água por meio das tecnologias de captação e armazenamento de água de chuva, além de fornecer condições para o cultivo agrícola a propiciar meios para a produção e a dessedentação de animais, proporcionou uma maior diversidade de alternativas para a geração de renda na propriedade.

A comercialização de animais, principalmente de caprinos, é hoje grande parte do sustento da família. A criação desses animais é um dos aspectos fortemente ligados à mulher no campo. Dona Socorro é que em sua rotina cuida das cabras e das galinhas compradas recentemente, além de realizar o trabalho doméstico e cuidar da horta de verduras do lado da casa e das hortaliças próximas à cisterna calçadão. A família ainda consome muitos recursos de fora da propriedade, com compras de alimentos sendo feitas na cidade de Serra Talhada - PE, geralmente para dois meses, as vezes até para seis meses. Dona Socorro expressa um sentimento de pertencimento à terra e valoriza o fato de poder trabalhar em algo que é próprio. Relata que os filhos querem levá-la com eles, para morar em outro lugar, mas que ela se recusa a deixar sua terra.

“Falo pra eles: trabalhei pra dar conta de vocês, hoje eu me acho só, porque vocês foram embora, porque queriam trabalhar e eu não pude empatar a

vida que é de vocês. Mas eu não deixo o meu lugar, quero ficar aqui, que eu suei, trabalhei, comprei. Eu não quero sair do meu lugar.”

Dona Socorro

Com exceção de dois homens que moram em propriedades próximas ao sítio de Dona Socorro e Sr. Manuel, todos os filhos do casal saíram em busca de emprego e oportunidades. Com as melhorias trazidas pelo acesso à água para a propriedade, Dona Socorro vislumbra a possibilidade real de retorno de alguns dos filhos para Pilãozinho. Alguns já constituíram família e desenvolvem outras atividades, porém outros, principalmente os mais novos, segundo ela, manifestam o desejo de retornar à casa e poder trabalhar junto com Sr. Manuel.

O acesso à propriedade também melhorou na última década. Uma estrada ligando Serra Talhada à uma cidade vizinha no estado da Paraíba, melhorou as condições de locomoção e transporte, facilitando o comércio dos animais e da produção agrícola e o acesso a serviços. No seu relato Sr. Manuel afirma que tudo está mais perto, devido à estrada nova.

Sobre os serviços disponíveis para a comunidade, ele se lembra da presença, agora constante, de médicos no posto de saúde na vila de Santa Rita, afirmando que “Toda quinta feira tem doutor”. E sobre a comercialização dos produtos produzidos na sua propriedade, afirma ser mais fácil comercializar animais do que os produtos agrícolas. A instalação das tecnologias para acesso à água possibilitou melhorias nas condições de vida da família. Uma reforma na casa foi possível e a vida mais tranquila são atribuídas a essas melhorias, pelo agricultor.

“Se você visse aqui como era, você iria ver, melhorou muito, fiz reforma e tá tudo melhor, você pode ver na foto como era antes. Hoje a gente está bem de vida, pode melhorar, mas pra isso é só trabalhar. Mas hoje tamos bem demais”

Sr. Manuel (abril de 2017)

Para Furtado et al. (2014), a importância das tecnologias sociais de captação e armazenamento de água da chuva promove cidadania, dignidade e autonomia da família, estando relacionadas com a construção de processos dialógicos e de empoderamento das populações rurais, aflorando dinâmicas de transformação social e assim permitindo o desenvolvimento endógeno, autônomo e soberano, seja nas decisões ambientais, sociais e/ou econômicas, que fortalecem a agricultura familiar e, conseqüentemente, promovem a segurança alimentar e nutricional.

Uma análise econômica da propriedade em estudo não foi possível, devido a precariedade dos dados referentes à produção e a comercialização das colheitas.

Foram observados apenas as condições de ocupação do solo e de exploração e preservação das áreas, de forma integrada na propriedade. O agricultor pouco cultivava as áreas antes da implantação da barragem subterrânea, calçadas e cisternas principalmente, por existir a incerteza em relação às colheitas, gerada pela irregularidade das precipitações (chuvas).

O estudo mostra que as tecnologias sociais mais urgentes para a convivência com o semiárido são as tecnologias de captação, armazenamento e conservação de água da chuva, pois propiciam um redesenho dos agroecossistemas no Semiárido. Estas tecnologias sociais, entre elas a barragem subterrânea, não atuam de forma isolada, e através do bom funcionamento conjunto são capazes de influenciar diretamente, tanto na disponibilidade de alimentos, na qualidade nutricional, na quantidade suficiente para o período seco, como também na economia monetária das famílias, possibilitando geração de renda a partir de outras fontes além da própria agricultura.

Esse processo se iniciou com o acesso à terra e posteriormente com o acesso à água, necessidades contínuas no Semiárido, e que permanecem em constante evolução, de acordo com as etapas de sustentabilidade vividas por cada família.

Figura 10 - Casa da família de Dona Socorro e Sr. Manuel em dois momentos da trajetória de vida da família, em 2010 (a), quando a implantação das tecnologias de captação de água ainda eram recentes na propriedade e, em 2017 (b), com melhorias visíveis na estrutura da casa.



Fonte: (a) NASCIMENTO et al. (2015); (b) a autora.

4.2. Características físicas do solo

Na Tabela 1 estão reunidos os valores encontrados para os atributos físicos estudados nas diferentes áreas da propriedade em questão. Os valores médios de porosidade total dos solos podem estar relacionados ao baixo conteúdo da fração argila. Segundo Gubiani et al. (2014) e Reichert et al. (2003), este fato pode ser explicado pela maior presença de cascalho e areia, em detrimento das frações mais finas, as quais conferem aos solos maiores quantidades de microporos, contribuindo significativamente para os elevados valores da porosidade total.

Segundo Kiehl (1979), a densidade do solo se situa no intervalo de 1,1 a 1,6 Mg m⁻³ em solos minerais e assume valores superiores a 1,6 Mg m⁻³ em solos arenosos. Marcolin e Klein (2011) observaram valores de densidade de 1,0 e 1,45 Mg m⁻³ para solos argilosos e 1,25 e 1,70 Mg m⁻³ para solos arenosos, em áreas com vegetação e em solos compactados, respectivamente.

Tabela 1 - Atributos físicos do solo nas profundidades dos perfis estudados.

Áreas	Areia		Silte		Argila		PT	Ds		Dp		DMPu		
			(%)					(g cm ⁻³)				(mm)		
0,0 m - 0,10 m														
A	70,00	B	17,93	A	12,06	B	49,08	A	1,28	CB	2,50	B	1,84	B
B	64,87	C	17,83	A	17,30	A	42,18	B	1,47	A	2,55	AB	2,63	A
C	67,63	CB	12,37	B	18,60	A	52,77	A	1,24	C	2,63	AB	2,43	A
D	80,20	A	7,43	C	12,16	B	49,23	A	1,35	B	2,65	A	1,90	B
0,20 - 0,30 m														
A	71,56	BA	12,26	A	16,17	B	47,92	A	1,32	B	2,53	C	2,81	A
B	73,73	A	9,66	B	17,00	B	40,92	B	1,50	A	2,55	CB	2,92	A
C	65,40	B	12,00	A	22,87	A	49,06	A	1,33	B	2,62	B	2,78	A
D	74,13	A	9,36	B	16,17	B	49,06	A	1,37	B	2,69	A	2,49	A
Médias seguidas por letras idênticas na coluna não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste Duncan a 5% de probabilidade.														

Fonte: Elaborado pela autora. Legenda: PT – porosidade total; DMPu – Diâmetro Médio Ponderado úmido; Ds - Densidade do solo; Dp - densidade das partículas.

Na área B, onde está localizada a barragem subterrânea, foram encontrados os maiores valores de densidade, diferindo estatisticamente ($p < 0,05$) dos valores apresentados pelas demais áreas. Esses valores mais elevados na densidade podem ser explicados em razão da estabilidade de agregados, pois as características desse solo do semiárido podem ter favorecido a compactação superficial. É importante notar que uma menor densidade do solo contribui com o aumento da porosidade total e, conseqüentemente, maior capacidade de retenção e armazenamento de água (MOTA; FREIRE; ASSIS JÚNIOR, 2013).

Estudos realizados em áreas semiáridas e desérticas avaliando-se a distribuição espacial do carbono orgânico detectaram uma correlação negativa entre a densidade do solo e o teor de Carbono Orgânico - CO (ADDIS; KLIK; STROHMEIER, 2015; YANG et al., 2014a). Em pesquisa realizada na bacia do rio Jatobá, Araújo et al. (2018a) observaram que solos com maior fração argila e silte, presentes em regiões menos densas, retêm maior quantidade de CO.

Salton et al.(2008) ressaltam a importância de agregados estáveis para a boa estrutura do solo, através da promoção de espaços porosos para desenvolvimento das raízes, da fauna do solo e circulação de ar e água.

Segundo Kiehl (1979) e Yang et al. (2014b) a vegetação é um fator importante de formação de agregados, através da ação mecânica das raízes ou pela excreção de substâncias com ação cimentante, fator este que de maneira indireta, fornece nutrientes à fauna do solo. Nas áreas estudadas em que não há presença de vegetação fortemente associada ao solo, a tendência é ocorrerem índices baixos de agregação do solo, devido aos danos ocasionados pela exposição ao intemperismo e pelas práticas agrícolas mecanizadas.

Em relação à estabilidade de agregados nas áreas estudadas, para o Diâmetro Médio Ponderado (DMP), observa-se que as áreas A e D, na primeira camada do solo (profundidade 0,0 m - 0,10 m) apresentaram os menores valores (1,84 mm e 1,90 mm) o que pode ser causado pela quebra da estrutura do agregado devido à compactação do solo, ocasionada pelo pisoteio ou uso de maquinário, o que exerce influência diretamente na agregação do solo (CASTRO; LOGAN, 1991). Na profundidade 0,20-0,30 m, não se observou diferenças estatísticas entre as áreas.

De acordo com Magro, (1999) e Rangel e Guerra (2014) a compactação dos solos altera sua porosidade em razão da redução do volume de macroporos. Este aumento na compactação eleva a resistência mecânica do solo à penetração de raízes e à infiltração de

água, reduzindo inclusive a regeneração natural e aumentando sua susceptibilidade à erosão e perda de matéria orgânica.

Os valores mais elevados apresentados pelas áreas B e C em ambas as profundidades estudadas, mostram a importância da manutenção da vegetação, contribuindo com a matéria orgânica e a presença da água como um fator positivo para a estabilidade do solo no que diz respeito a agregação. Vale ressaltar também que que estas áreas estão menos suscetíveis ao impacto e pisoteio.

4.3. Características químicas do solo

Na Tabela 2 encontra-se a caracterização química das áreas em estudo com valores que expressam a fertilidade presente nesses solos. Autores como Machado et al.(2014); Prezotti; Martins (2013), investigando as características químicas dos solos, corroboram o conceito de fertilidade dos solos como sendo um dos componentes essenciais para uma agricultura sustentável, configurando um dos parâmetros mais importantes dos sistemas produtivos.

Tabela 2 - Características químicas dos solos nas áreas estudadas

Áreas	pH (água)	Ca	Mg	Al	Na	K	P	C.O.	M.O	H+Al	SB	CTC (t)	CTC (T)	Saturação
	01:02,5	cmok dm-3					mg dm ⁻³	gKg ¹	cmol dm ⁻³				Bases	V%
0-10 cm														
A	5,97 BA	3,18 A	0,42 A	0,00 A	0,06 A	0,32 A	9,67 BA	7,45 A	12,84 A	1,54 A	3,98 A	3,98 A	5,52 A	72,10
B	6,63 A	1,73 B	0,43 A	0,00 A	0,07 A	0,40 A	12,33 A	3,32 B	5,73 B	1,18 A	2,63 B	2,63 B	3,81 B	69,03
C	5,37 B	2,40 BA	0,80 A	0,08 A	0,04 A	0,32 A	3,33 B	7,55 A	13,01 A	3,03 A	3,56 A	3,64 A	6,59 A	54,02
D	6,07 BA	3,07 A	0,47 A	0,07 A	0,04 A	0,46 A	8,00 BA	3,25 B	5,61 B	2,15 A	4,04 A	4,11 A	6,19 A	65,27
20-30 cm														
A	6,00 A	1,67 A	0,56 A	0,10 B	0,05 A	0,25 BA	5,67 A	3,55 B	6,12 B	1,51 B	2,53 A	2,63 A	4,04 A	62,62
B	5,40 A	1,20 A	0,87 A	0,13 BA	0,01 C	0,23 B	1,00 A	3,20 B	5,52 B	1,82 B	2,31 A	2,44 A	4,13 A	55,93
C	4,83 A	1,07 A	0,57 A	0,55 A	0,03 B	0,23 B	0,33 A	3,76 B	6,49 B	3,69 A	1,90 A	2,45 A	5,59 A	33,99
D	5,80 A	1,50 A	0,60 A	0,07 B	0,04 BA	0,42 A	1,67 A	7,40 A	12,75 A	1,51 B	2,56 A	2,63 A	4,07 A	62,90

Médias seguidas por letras idênticas na coluna não apresentam diferença significativas entre si pelo teste Duncan à 5% de probabilidade

Os valores dos atributos químicos do solo apresentaram variação significativa de modo diferente em cada uma das profundidades, para as áreas em estudo (Tabela 2). Na camada mais superficial (0 m – 0,10 m), houve diferença significativa entre as áreas quando analisados o pH, os teores de Ca, P, CO, MO, SB, CTC (t) e CTC (T). Para a camada mais

interna estudada (0,20m – 0,30m) variações significativas foram identificadas através do teste de Duncan para os valores de Al, Na, K, C.O. , M.O., e H+ Al.

Os teores de Al variaram significativamente apenas na camada mais profunda, com os maiores valores ocorrendo na área de C, uma área de mata (0,08 e 0,55 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, de 0,0 m a 0,10 m e 0,20 m a 0,30 m, respectivamente). As áreas A (sulcos de erosão) e B (barragem subterrânea) não apresentaram valores válidos para a camada mais superficial (0,0 m a 0,10m) e para a camada mais profunda (0,10 e 0,13 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ respectivamente). Segundo a classificação proposta por Alvarez V et al. (1999), os teores de Al encontrados para áreas em estudo variaram de muito baixo a médio.

Os valores de acidez potencial (H + Al) também variaram entre as áreas mas essa variação se mostrou significativa apenas para a profundidade (0,20 – 0,30 m) , apresentando comportamento similar ao mostrado pelo Al. Os maiores valores foram novamente observados na área de mata (3,03 e 3,69 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, de 0,0 m a 0,1 m e 0,2 m a 0,3 m, respectivamente) e os menores na área B, na profundidade 0,0 m – 0,10 m e na área A na profundidade 0,20 m – 0,30 m, semelhante ao que foi encontrado por Portugal; Costa; Costa (2010) em análises das propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata. Os autores ressaltam que a diferença apresentada pelos valores de H+Al e Al nas áreas, reflete os diferentes valores de H, influenciando na acidez potencial dos ambientes e atribuem essa diferença aos teores de matéria orgânica observados, como proposto por Sousa; Miranda; Oliveira (1988) devido aos vários grupos funcionais, especialmente os grupos carboxílicos e fenólicos, apresentados pela matéria orgânica do solo, que podem liberar o H que irá compor os íons envolvidos na capacidade de troca de cátions do solo (CTC) (DE FREITAS et al., 2017; RANGEL; SILVA, 2007).

Os solos das áreas estudadas apresentam caráter eutrófico (Tabela 2), tendo valores elevados de saturação por bases (V%), de acordo com os valores propostas por Alvarez V et al.(1999). Esses resultados se mostram positivos, tendo em vista que de maneira geral os solos se apresentam férteis, com bons níveis de nutrientes, o que implica numa boa produtividade.

Os valores mais elevados de fósforo (P) foram registrados na área da barragem subterrânea, (12,33). Sobre a área onde está instalada a barragem subterrânea, Torres e Pfaltzgraff (2014), comentam a baixa porosidade das rochas e sua composição química rica

em sais (sódio e potássio), por pertencerem ao domínio de rochas do embasamento cristalino do Pré-Cambriano.

Segundo a faixa para interpretação do teor de fósforo (P), propostas por Sobral et al. (2015), os valores encontrados neste estudo se enquadram entre baixos e médios. Os solos brasileiros em geral apresentam em sua composição baixa disponibilidade e mobilidade desse nutriente (DIAS et al., 2015; SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Lima et al. (2017) estudando o acúmulo de sais no solo, o crescimento e partição de fitomassa do feijão caupi sob estresse salino e fertilização fosfatada, demonstraram a contribuição do elemento fósforo no processo de salinização do solo.

4.3.1. Condutividade elétrica do solo e salinidade

Na Tabela 3 estão apresentados os valores médios da condutividade elétrica (CEes) na solução do solo nas duas profundidades estudadas, bem como o resultado do Teste de Duncan a 5% de significância. A região em questão apresenta taxa de evaporação, ultrapassando o valor da precipitação pluviométrica anual o que segundo Teixeira (2010) promove a ascensão capilar de sais para a superfície do solo à medida que a água for evaporada ou consumida pela vegetação. Apesar disso, análise da concentração de sais solúveis (CEes), mostrou baixos valores de sais solúveis em ambas as profundidades, caracterizando o solo nessas áreas como não salinos, segundo Oliveira et al. (2002). Os efeitos adversos da salinidade sobre as plantas são devidos, principalmente, ao aumento do potencial osmótico do solo e toxidez resultante da concentração salina e de íons específicos (RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2010). Segundo Pereira (1982), solos salinos têm pH menor que 8,5 e condutividade elétrica no extrato de saturação – CEe maior que 4,0 mmhos/cm. Os solos sódicos por sua vez têm pH maior que 8,5 e CEe menor que 4,0 mmhos/cm, enquanto que os solos salino-sódicos apresentam pH menor que 8,5 e CEe maior que 4,0 mmhos/cm.

Tabela 3 - Valores medios da condutividade elétrica do estrato de saturação do solo e teste de Duncan a 5% de significância

Áreas	Condutividade elétrica no extrato de saturação do solo (CEes)	
	1:2,5 ds/m ⁻¹	
	0,0 m - 0,10 m	0,20 m - 0,30 m
A	0,85 A	0,57 A
B	1,12 A	0,54 A
C	0,72 A	0,48 A
D	0,96 A	0,87 A

Médias seguidas por letras idênticas na coluna não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste Duncan a 5% de probabilidade

Para áreas de cultivo, a baixa concentração de sais solúveis é importante por não interferir na absorção de água e nutrientes da planta. Uma alta concentração poderia causar aumento da pressão osmótica da solução do solo, levando à seca fisiológica e ao desequilíbrio nutricional (LIMA et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2002), além do selamento superficial do solo e formação de camadas impermeáveis em subsuperfície (BARROS et al., 2004; ELHAG; BAHRAWI, 2017).

Observa-se que a área B, onde se encontra a barragem subterrânea apresentou valores mais elevados da condutividade elétrica quando comparada as demais áreas na camada mais superficial. Tal fato pode estar associado ao carreamento dos sais presentes nas áreas mais elevadas até a área da barragem ou à ascensão capilar da água, evaporação e deposição de sais na superfície do solo.

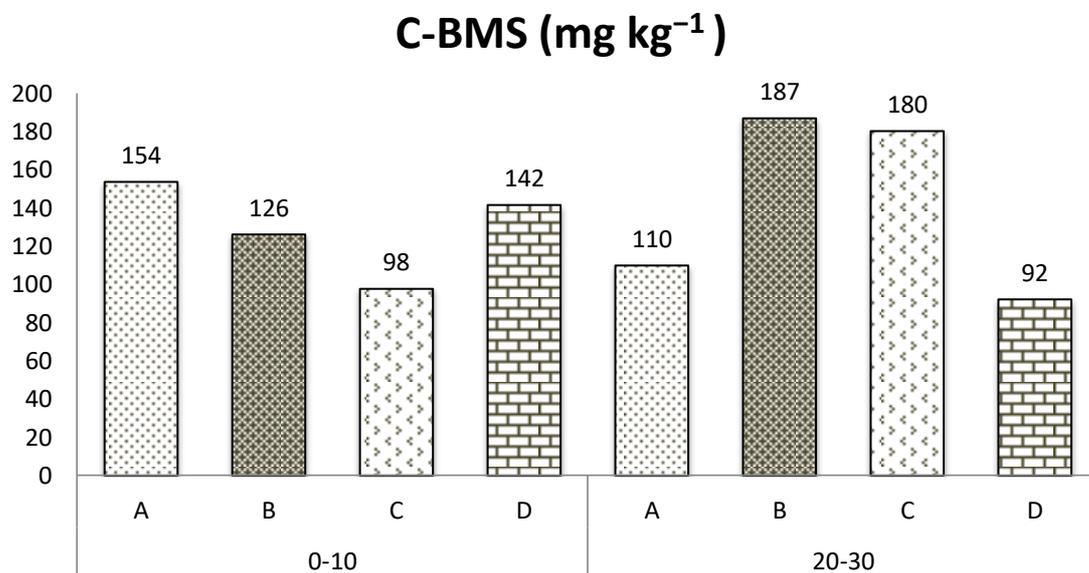
4.4. Análises biológicas

4.4.1. Carbono da biomassa microbiana e Respiração basal do solo

Os valores obtidos para biomassa microbiana, respiração basal e quociente metabólico para as áreas estudadas, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Caracterização biológica das quatro áreas em estudo

Áreas	BMS		$\mu\text{g CO}_2\cdot\text{g solo}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$		$\%q\text{CO}_2$
	($\mu\text{g C/g solo}$)				(%)
0,0 m - 0,10 m					
A	153,64	A	18,01	C	0,12 A
B	126,14	A	24,27	BC	0,19 A
C	97,68	A	29,34	BA	0,30 B
D	141,55	A	37,81	A	0,27 B
0,20 m - 0,30 m					
A	117,86	A	35,04	A	0,30 B
B	186,91	A	27,93	B	0,15 A
C	180,21	A	34,58	A	0,19 A
D	92,17	A	29,38	A	0,32 B
Médias seguidas por letras idênticas na coluna não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste Duncan a 5% de probabilidade					

Figura 11 – Concentração de carbono da biomassa microbiana do solo, nas quatro áreas estudadas, nas profundidades 0,0 m – 0,10 m e 0,2 m - 0,3 m.

Legenda - A - área com sinais de degradação e sulcos de erosão apresentando vegetação; B - área da barragem subterrânea; C - área de Caatinga; D: área de cultivo e proximidades da residência do agricultor. Fonte: Elaborado pela autora (2018).

O carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) atingiu maiores valores na profundidade 0,20 m - 0,30 m nas áreas B (187 mg kg⁻¹) e C (180 mg kg⁻¹). Não foram evidenciadas diferenças significativas entre as áreas. Abuduwaili et al. (2012) comentam que a distribuição da matéria orgânica é dinâmica no espaço e no tempo e depende fortemente da ação antrópica, que constantemente altera o uso da terra e acaba por influenciar esse atributo.

É comum que se observe um declínio nos valores do carbono da BMS com o aumento da profundidade, porém nas áreas “B” e “C” observou-se uma relação inversa, com as áreas apresentando maiores valores para a biomassa na camada mais interna (0,20 – 0,30 m). Este fato pode ser atribuído à composição desfavorável da primeira camada (0 – 0,10 m) para a área C, que apresentou visualmente uma grande quantidade de rochas, seixos (cascalhos e matacões) o que chegou a dificultar a coleta de solo em alguns pontos amostrais. Somada a isso temos a composição mais argilosa da camada mais profunda nessas áreas, favorecendo o aumento da biomassa microbiana no solo.

A respiração basal do solo ao contrário do que foi visto para a biomassa, não se apresentou semelhante em todos as áreas, atingindo seu maior valor (37,81 mg kg⁻¹ C-CO₂ solo dia⁻¹) na profundidade 0,0 m – 0,10 m da área D, área essa sujeita a uma maior influência antrópica e utilizada em parte para o cultivo agrícola. O quociente metabólico foi mais elevado na área C e D, na profundidade 0,0 m – 0,10 m e nas áreas A e D, na profundidade 0,20 m – 0,30 m. Diferindo estatisticamente dos demais valores apresentados (P < 0,05).

A ausência de chuvas regulares em locais semiáridos como nas áreas em estudo, restringe a capacidade de retenção de água nas camadas superficiais dos solos reduzindo a quantidade de matéria orgânica decomposta e prontamente disponível aos microrganismos ao longo da profundidade do solo. Nas camadas mais profundas, existe uma concentração maior da umidade onde se observa maior acúmulo de argila e adensamento das partículas, com maior proteção à matéria orgânica e conseqüentemente à biomassa microbiana local, ocorrendo assim, o favorecimento da carga microbiana nesses locais.

A variação observada nos resultados de C-BMS do presente trabalho corrobora com os valores apresentados por De Araujo Filho et al., (2018) em um ambiente sob caatinga hiperxerófila, na região do município Floresta - PE e é cerca de 4 vezes inferior aos valores apresentados nas áreas de floresta com 80 anos de ausência de interferência antropogênica. Martins et al. (2010) também reportaram valores de C-BMS próximos ao encontrados no presente trabalho para o ambiente considerado pelos autores como moderadamente e totalmente degradado.

Valores de C-BMS inferiores aos já apresentados em solos de floresta da mesma ou de outras regiões sob o bioma caatinga (ALTHOFF et al., 2016; FRACETTO et al., 2012; MOURA et al., 2016) indicam que o processo de degradação ao que foi exposta a área em questão, seja responsável pelos baixos valores de C da BMS.

Contrariamente ao que foi reportado por Kaschuk et al. (2010) e De Araujo Filho et al. (2018), que relacionaram o aumento da respiração basal e do quociente metabólico à disponibilidade de nutrientes liberados pelos vegetais e decomposição microbológica, nas condições do presente estudo o aumento no quociente metabólico e na respiração basal podem retratar condições de estresse oxidativo nos solos desta região, em função de perda da vegetação e dos processos erosivos dos solos em questão. Dessa maneira, os aumentos na respiração basal do solo e no quociente metabólico conduzem à possibilidade de perdas de C nos solos dessas áreas.

O quociente metabólico contribui assim, para a identificação de solos com biomassa mais eficiente na demanda energética, refletindo ambientes com menor grau de distúrbio ou estresse quando seus valores são mais baixos. Os valores mais elevados de qCO_2 , normalmente, são associados com ecossistemas jovens, degradados, ou submetidos a alguma condição de estresse (MONTANDON CHAER; TÓTOLA, 2007) o que é visto de modo geral nas áreas estudadas no presente trabalho, corroborando com os resultados apresentados por Machado et al. (2014).

4.5. Análise de componentes principais (ACP)

Na Tabela 5 observa-se inicialmente que foram formados dois grupos de variáveis nas três componentes: um grupo com peso dos autovalores, maiores que 0,70; e outro com peso menor que 0,70. Logo, as variáveis do grupo com menores pesos dos autovalores nas componentes principais devem ser descartadas conforme o critério de Kaiser (autovalor < 0,70), por apresentarem baixo peso de contribuição para os valores de carbono da biomassa. Após a terceira análise de ACP, com as variáveis que permanecerem nas componentes, observa-se que apenas duas componentes, C1 e C2 possuem autovalor maior que 1. Logo, estas componentes devem ser selecionadas para análise com a componente 1, agrupando o maior número de variáveis e, a componente C2 agrupando as variáveis de frações areia e argila e diâmetro ponderado úmido. A C1 e a C2 possuem uma variância acumulada de 78,56%, indicando que as variáveis presentes nessas duas componentes estão exercendo

grande peso de contribuição para o quantitativo de Carbono da biomassa das áreas na profundidade de 0-0,10 m. Pode-se destacar ainda que, após o critério de eliminação, a componente 1 engloba o conjunto de variáveis mais importantes no estudo, uma vez que, a C1 apresenta o maior autovalor (4,05) e possui representação de 50,65% de variância total da influência dessas variáveis no carbono da biomassa.

Tabela 5 - Análises dos atributos do solo como determinantes do carbono orgânico do solo na profundidade 0 – 0,10 m

Atributos do solo	Análise inicial				Após a 3º eliminação		
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3
Areia	0,3924	0,8329	-0,1904	-0,285632	-0,3944	-0,8493	0,0482
Silte	-0,5036	-0,7646	-0,3226	0,153402	*****	*****	*****
Argila	-0,0819	-0,4908	0,7297	0,236681	0,2384	0,7779	-0,4999
DP	0,6018	0,4430	0,2128	0,472318	*****	*****	*****
Ds	-0,7845	0,2326	0,1959	0,299873	0,8046	-0,1945	-0,3286
CEes	-0,8888	0,2364	0,3167	-0,184627	0,9501	-0,2172	-0,0389
pH	-0,8801	0,2336	-0,0220	0,014079	*****	*****	*****
Al	0,5731	-0,0332	0,4752	-0,188023	*****	*****	*****
Ca	0,3233	0,2101	-0,4565	-0,631289	*****	*****	*****
Mg	0,3940	-0,3595	0,6275	-0,122149	*****	*****	*****
H+Al	0,6957	-0,1061	0,4023	-0,306226	*****	*****	*****
K	-0,6128	0,5262	0,3860	-0,268124	*****	*****	*****
P	-0,9039	0,0911	-0,0540	-0,313256	0,9089	-0,2230	0,2706
Na	-0,7504	-0,1622	0,3659	-0,477247	0,8464	0,1085	0,2554
C.O.	0,4039	-0,6795	0,0000	-0,554977	*****	*****	*****
DMPu	-0,1957	-0,8254	-0,0004	-0,036358	0,2150	0,8290	0,4263
COResp	0,1816	0,7817	0,3855	-0,041163	*****	*****	*****
*BMS	0,1097	0,0482	0,1389	0,193938	-0,0435	-0,2349	-0,1000
Autovalor	6,0185	4,1312	2,2815	1,7598	4,0526	2,2323	0,7005
Variância total (%)	35,4029	24,3010	13,4208	10,3518	50,6574	27,9043	8,7566
Autovalor acumulado	6,0185	10,1497	12,4312	14,1910	4,0526	6,2849	6,9855
Acumulado (%)	35,4029	59,7039	73,1247	83,4765	50,6574	78,5618	87,3184

.***** Variáveis eliminadas.

Na Tabela 6, constata-se que antes da eliminação foram formados dois grupos de variáveis nas três componentes principais, as quais possuem autovalores maiores que 1. A componente 1 (C1), possui um maior número de variáveis com os pesos dos autovalores maiores que 0,70. Após a eliminação das variáveis com autovalores menores que 0,70 e da

realização de um segundo teste da ACP com os resultados das variáveis que permaneceram nas componentes, não mais se apresentaram variáveis com valores inferiores a 0,70. A C1 permaneceu com o maior número de variáveis contribuintes e sendo a de maior importância por apresentar o maior autovalor (4,22).

As variáveis presentes na C1 foram: fração argila, pH, Al, Ca, H+Al e Diâmetro Médio ponderado úmido (DMPu). A C2 apresenta um autovalor de 2,85, sendo representada pela fração silte, quantidade de Na e Densidade de solo. A densidade de partícula ficou presente na C3, que apresentou um autovalor complementar de 1,24. As três componentes principais possuem uma variância acumulada de 83,33%, indicando que as variáveis presentes nessas componentes estão exercendo grande peso de contribuição para o carbono da biomassa do solo.

Tabela 6 - Análises dos atributos do como determinantes para os valores de carbono orgânico do solo nas profundidade 0,20 – 0,30 m

	Análise inicial				Após a 1º eliminação		
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3
Areia	-0,6570	0,5874	0,1137	0,3694	*****	*****	*****
Silte	0,2601	-0,8527	0,1132	-0,1849	0,178	-0,830	-0,434
Argila	0,7399	-0,3608	-0,1794	-0,4040	0,734	-0,422	-0,107
Dp	-0,1003	0,0152	-0,9602	0,0298	0,129	-0,157	0,932
Ds	0,1189	0,9321	0,2413	-0,0043	0,119	0,959	-0,169
CEes	-0,6630	-0,0142	-0,4335	-0,2478	*****	*****	*****
pH	-0,8324	-0,1702	0,2441	-0,3254	-0,850	-0,139	-0,212
Al	0,7442	-0,2933	-0,3201	-0,0675	0,807	-0,391	0,049
Ca	-0,7222	-0,2305	0,2624	0,0502	-0,779	-0,126	-0,054
Mg	0,0666	0,3710	0,2610	-0,8261	*****	*****	*****
H+Al	0,7954	-0,2796	-0,2805	0,0753	0,829	-0,306	0,050
K	-0,5270	0,1103	-0,6548	-0,1108	*****	*****	*****
P	-0,5898	-0,4828	0,4297	-0,4198	*****	*****	*****
Na	-0,4999	-0,7961	0,0086	-0,1091	-0,530	-0,798	-0,016
CO	-0,6510	0,0192	-0,6965	-0,0983	*****	*****	*****
DMPu	0,8040	0,3897	0,0451	-0,3227	0,823	0,357	-0,312

COResp	0,1065	-0,5794	0,2352	0,7011	*****	*****	*****
*BMS	-0,5406	-0,2027	-0,0461	0,0852	-0,044	-0,235	-0,100
Autovalor	5,8729	34,5467	5,8729	34,5467	4,227	2,858	1,249
Variância total (%)	3,8224	22,4850	9,6954	57,0317	42,268	28,580	12,486
Autovalor acumulado	2,7596	16,2328	12,4550	73,2645	4,227	7,085	8,333
Acumulado (%)	2,0030	11,7822	14,4579	85,0467	42,268	70,848	83,333

.***** Variáveis eliminadas.

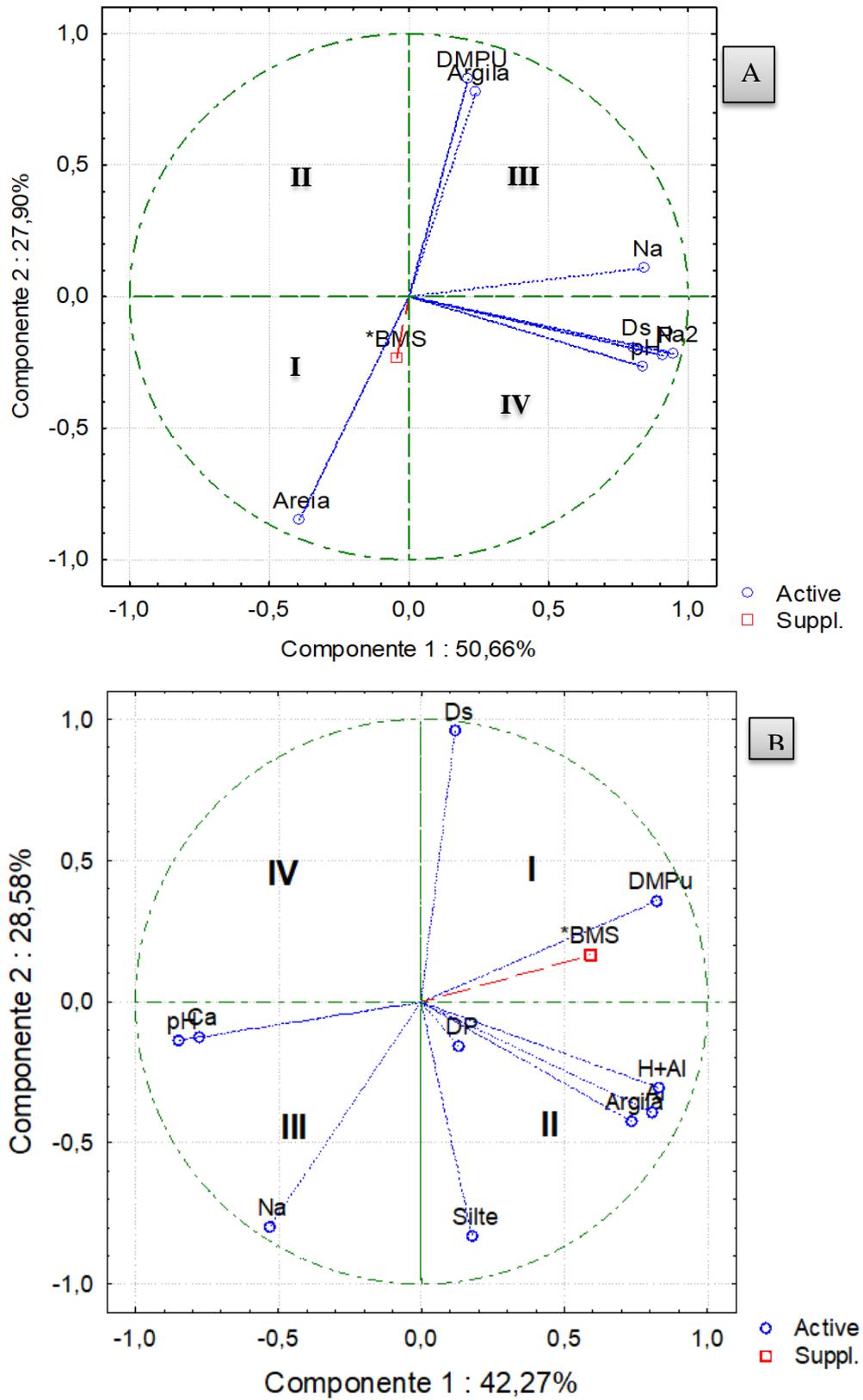
O outro aspecto da ACP é realizar a sobreposição das componentes, através da formação de nuvem de variáveis correlacionadas. Desse modo, é possível identificar visualmente quais das variáveis selecionadas, após eliminação, as que estão mais relacionadas com o carbono da biomassa do solo nas áreas em estudo.

Observa-se na Figura 12 (a) e (b) que para a profundidade 0,10 m, o gráfico das variáveis que contribuem para o carbono da biomassa no solo das áreas em estudo, apresentou relação de estreita proximidade de algumas dessas variáveis.

Outro fator importante, é que todas as outras variáveis estão muito próximas da linha do círculo unitário, indicando uma forte correlação com o carbono da biomassa microbiana. Na profundidade de 0-0,10 m (Figura 12a) a variável fração de areia está situada no quadrante I; desse modo, pode-se inferir que o carbono da biomassa do solo está sendo fortemente influenciado por esta variável, pela localização no mesmo quadrante I, quando comparadas com as outras variáveis, que estão nos quadrantes opostos III e IV.

Já para a profundidade de 0,20 – 0,30 m (Figura 12b) constata-se que o carbono da biomassa microbiana está situado no quadrante I, indicando que o Diâmetro médio ponderado e a densidade de solo, estão exercendo forte influência no carbono da biomassa microbiana para as áreas em estudo na profundidade de 0,20 – 0,30 m.

Figura 12 - Gráfico da distribuição da nuvem de variáveis no círculo de correlações nas profundidades de 0-0,10 m (A) e 0,20-0,30 m (B).

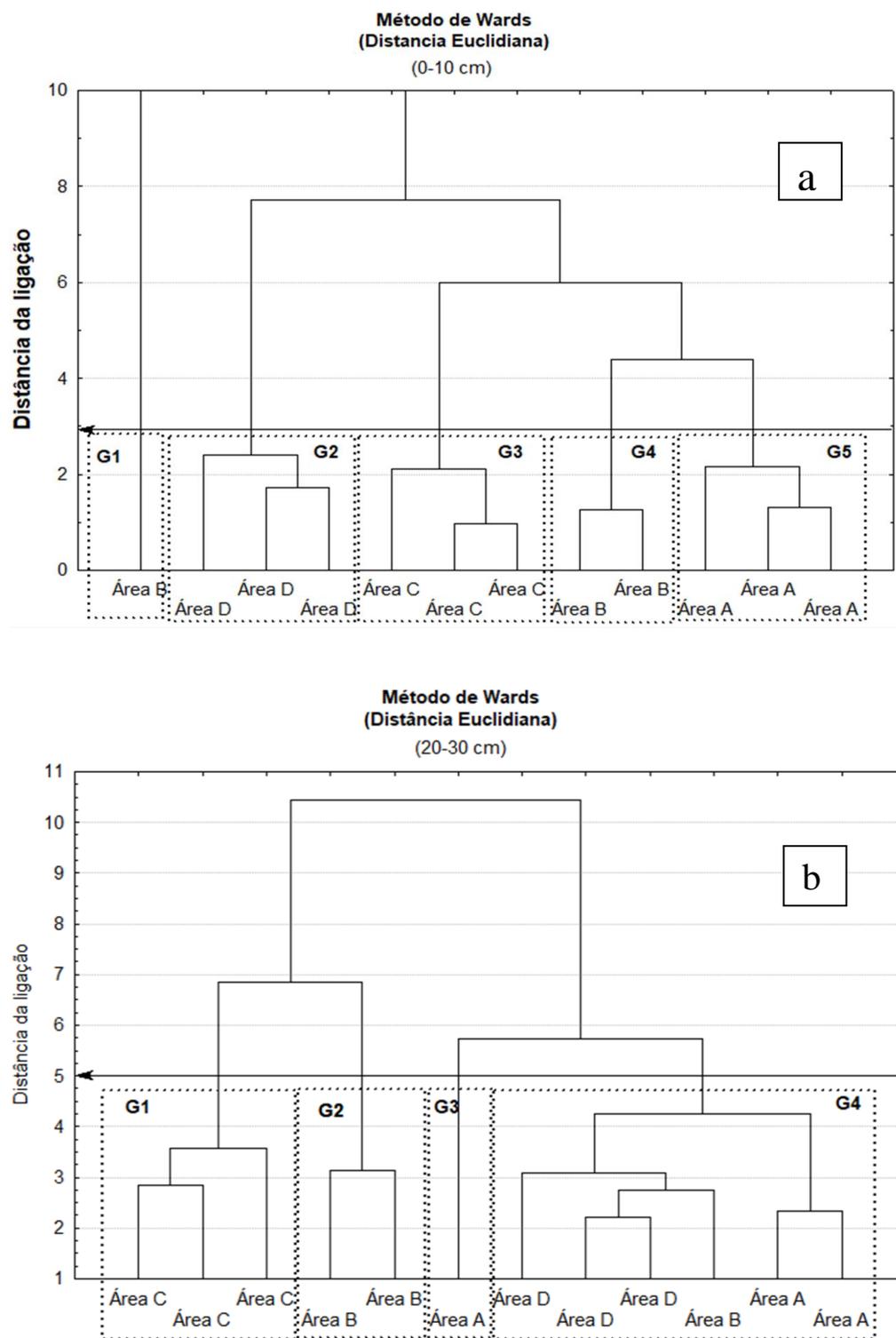


4.6. Análise de agrupamentos

A Figura 13 apresenta os dendogramas de grupos formados pelos sistemas de manejo nas profundidades 0-0,10 (a) e 0,20-0,30m (b), construídos com as variáveis que exercem influência no carbono da biomassa microbiana, selecionadas pela ACP nas duas profundidades em estudo. No dendograma “a” foram formados cinco grupos conforme o corte na distância Euclidiana, já no dendograma “b”, as amostras se dividiram em quatro grupos. Em ambos dendogramas houve a dispersão dos pontos amostrais da área B, onde está localizada a barragem subterrânea, para outros grupos. Para a profundidade 0 – 0,10m (dendograma “a” Figura 13 a), houve a concentração dos pontos das áreas A, C e D em grupos individuais, mostrando a homogeneidade dessas áreas, o que não foi observado para a área B (área de localização da barragem subterrânea), que teve dois pontos de coleta reunidos em um grupo e um terceiro ponto isolado demonstrando sua heterogeneidade com relação as outras áreas e a parte da própria área da barragem.

Analisando-se a profundidade 0,20- 0,30m, (dendograma “b” Figura 13b), apenas a área C, apresentou todos os pontos reunidos em um único grupo, estando os pontos pertencentes às demais áreas, fracionados em agrupamentos. A área A, apresenta um ponto que não guarda similaridade com os demais pontos dessa área nem com outros grupos, estando esse ponto isolado. A área B agrupa dois pontos com homogeneidade e um ponto correlato com as áreas D e A, formando um grande grupo heterogêneo em relação aos outros grupos (grupo 4). A formação deste grupo 4, reunindo pontos pertencentes as três áreas em estudo, indica que essas áreas apesar de distintas, guardam características semelhantes entre si. O histórico de uso e ocupação do solo pode servir para embasar essa correlação ao passo que toda a extensão da propriedade já teve utilizações semelhantes.

Figura 13 - Dendograma representando os grupos formados pelas áreas em estudo nas profundidades 0,0 – 0,10 m (a) e 0,20 – 0,30 m (b)



5. CONCLUSÃO

A barragem subterrânea juntamente as demais tecnologias alternativas implantadas na propriedade promoveram modificação e aumento da biodiversidade na propriedade rural.

O uso da barragem possibilitou o aumento da produção de forrageiras para os animais além de favorecer o policultivo da área, melhorando a renda familiar.

A propriedade fornece hoje condições para que a família obtenha o seu sustento mesmo em época de estiagem e a melhor estruturação da propriedade permitiu uma melhor organização da vida da família em termos de gestão da produção e adoção de novas fontes de renda.

Os solos estudados apresentaram em geral uma boa condição física estando a estabilidade de agregados relacionadas com a composição particular de cada área, apesar dos bons valores gerais.

Nas análises realizadas no presente estudo os solos não se mostraram salinos, sendo essa uma questão relevante quando da presença de uma barragem subterrânea no local.

Os solos alcançaram valores de nutrientes que os caracterizam como eutróficos, o que representa um ponto positivo, demonstrando o potencial produtivo da propriedade seguindo um manejo correto e com o recurso água garantido pelas tecnologias alternativas de captação presentes.

Os parâmetros microbiológicos de biomassa microbiana, respiração basal, quociente metabólico demonstraram ser sensíveis às variações de composição dos ambientes, de modo diferente para cada uma das profundidades estudadas.

A camada mais interna (0,20 – 0,30m) apresentou melhores condições de manutenção do carbono orgânico em função das características mais argilosas desses locais.

Os valores baixos observados para a biomassa microbiana, somados aos altos valores apresentados pelo quociente metabólico, sugerem que a microbiota das áreas esteja passando por condições de estresse.

REFERÊNCIAS

- ABUDUWAILI, J. et al. Spatial distribution of soil moisture, salinity and organic matter in Manas River watershed, Xinjiang, China. **Journal of Arid Land**, v. 4, n. 4, p. 441–449, 2012.
- ADDIS, H. K.; KLIK, A.; STROHMEIER, S. Spatial variability of selected soil attributes under agricultural land use system in a mountainous watershed, Ethiopia. **International Journal of Geosciences**, v. 6, n. 06, p. 605, 2015.
- ADHIKARI, K.; HARTEMINK, A. E. Linking soils to ecosystem services—A global review. **Geoderma**, v. 262, p. 101–111, 2016.
- AGUIRRE-SALADO, C. A. et al. Mapping aboveground biomass by integrating geospatial and forest inventory data through a k-nearest neighbor strategy in North Central Mexico. **Journal of Arid Land**, v. 6, n. 1, p. 80–96, 2014.
- AHMAD, S. LAND DEGRADATION A THREAT TO SUSTAINABLE RURAL DEVELOPMENT IN RURAL DEVELOPMENT CONFERENCE 2017 BANGKOK Tomorrow People Organization Dušana Vukasovića 73 , Belgrade , Serbia. n. July, 2017.
- ALLBED, A.; KUMAR, L. Soil Salinity Mapping and Monitoring in Arid and Semi-Arid Regions Using Remote Sensing Technology: A Review. **Advance in Remote Sensing**, v. 2, n. December, p. 373–385, 2013.
- ALTHOFF, T. D. et al. Climate change impacts on the sustainability of the firewood harvest and vegetation and soil carbon stocks in a tropical dry forest in Santa Teresinha Municipality, Northeast Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 360, p. 367–375, 2016.
- ALVALÁ, R. C. S. et al. **Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region Anais da Academia Brasileira de Ciências** scielo , , 2017.
- ALVAREZ V, V. H. et al. Interpretação dos resultados das análises de solos. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, v. 5, p. 25–32, 1999.
- AMERICA, S. S. S. OF. **Glossary of soil science terms 2008**. [s.l.] ASA-CSSA-SSSA, 2008.
- AMUNDSON, R. et al. Soil and human security in the 21st century. **Science**, v. 348, n. 6235, p. 1261071, 2015.
- ANDERSON, T.-H.; DOMSCH, K. H. Maintenance carbon requirements of actively-metabolizing microbial populations under in situ conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 17, n. 2, p. 197–203, 1985.
- ANDERSON, T.-H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil biology and biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393–395, 1993.
- ANGULO, R. J.; ROLOFF, G.; SOUZA, M. L. P. Relações entre a erodibilidade e agregação, granulometria e características químicas de solos brasileiros. **Revista brasileira de ciência do**

solo, v. 8, n. 1, p. 133–138, 1984.

ANJOS, S. **Tecnologias e Projetos para Conviver com o Semiárido**, 2016.

ARAÚJO, D. C. DOS S. et al. **Spatial variability of soil attributes in an experimental basin in the semi-arid region of Pernambuco, Brazil.**

ARAÚJO, D. C. DOS S. et al. Spatial variability of soil attributes in an experimental basin in the semi-arid region of Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 38–44, jan. 2018b.

ASFAW, E.; SURYABHAGAVAN, K. V.; ARGAW, M. Soil salinity modeling and mapping using remote sensing and GIS: The case of Wonji sugar cane irrigation farm, Ethiopia. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, 2016.

BADIANE, N. N. Y. et al. Use of soil enzyme activities to monitor soil quality in natural and improved fallows in semi-arid tropical regions. **Applied soil ecology**, v. 18, n. 3, p. 229–238, 2001.

BANWART, S. Save our soils. **Nature**, v. 474, n. 7350, p. 151, 2011.

BARROS, J. D. S.; CHAVES, L. H. G. Changes in soil chemical properties under different farming systems exploration in semiarid region of Paraíba. **African Journal of Agricultural Research**, v. 9, n. 31, p. 2436–2442, 2014.

BARROS, M. DE F. C. et al. Recuperação de solos afetados por sais pela aplicação de gesso de jazida e calcário no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2004.

BEHERA, N.; SAHANI, U. Soil microbial biomass and activity in response to Eucalyptus plantation and natural regeneration on tropical soil. **Forest Ecology and Management**, v. 174, n. 1–3, p. 1–11, 2003.

BENDER, S. F.; WAGG, C.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A. An underground revolution: biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. **Trends in ecology & evolution**, v. 31, n. 6, p. 440–452, 2016.

BENEDUZI, A. et al. Diversity and plant growth promoting evaluation abilities of bacteria isolated from sugarcane cultivated in the South of Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 63, p. 94–104, 2013.

BOUMA, J. et al. Soil science input in transdisciplinary projects in the Netherlands and Italy. **Geoderma Regional**, v. 5, p. 96–105, 2015.

BOUMA, J.; MCBRATNEY, A. Framing soils as an actor when dealing with wicked environmental problems. **Geoderma**, v. 200–201, p. 130–139, 2013.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elements of the nature and properties of soils**. [s.l.] Pearson Educational International Upper Saddle River, NJ, 2010.

BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R. Desenvolvimento rural do semiárido brasileiro: transformações recentes, desafios e perspectivas. **Confins. Revue franco-brésilienne de**

géographie/Revista franco-brasileira de geografia, n. 19, 2013.

BÜNEMANN, E. K. et al. Soil quality – A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, n. January, p. 105–125, 2018.

BURNS, R. G. et al. Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 58, p. 216–234, 2013.

CALEGARI, A. et al. Long-term effect of different soil management systems and winter crops on soil acidity and vertical distribution of nutrients in a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 133, p. 32–39, 2013.

CAMPOS, J. N. B. Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos. **Estudos Avançados**, v. 28, n. 82, p. 65–88, 2014.

CANTALICE, J. R. B. et al. Hydrology and water quality of a underground dam in a semiarid watershed. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 28, p. 2508–2518, 2016.

CARDOSO, E. J. B. N. et al. **Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health?** *Scientia Agricola scielo* , , 2013.

CARVALHO, A. E. M. et al. Diagnóstico do uso e conservação do solo em região de reforma agrária no semiárido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 3, p. 568–573, 2017.

CARVALHO, A. J. A.; ALVES, J. S.; FERREIRA, M. H. S. O licuri (*Syagrus coronata*, Arecaceae): lavoura xerófila e agricultura familiar camponesa no semiárido do centro-norte baiano. **Bahia Análise & Dados**, v. 24, n. 3, p. 415–434, 2015.

CARVALHO, M. A. DE et al. Composição granulométrica, densidade e porosidade de agregados de Latossolo Vermelho sob duas coberturas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 10, p. 1010–1016, 2014.

CARVALHO, N. DA S. PROPRIEDADES MICROBIOLÓGICAS DO SOLO AO LONGO DE UM GRADIENTE VEGETACIONAL DE CERRADO NO PARQUE NACIONAL DE SETE CIDADES. 2016a.

CARVALHO, R. M. Barragem subterrânea no Semiárido do Ceará : caracterização e análise da viabilidade econômica. p. 17–43, 2016b.

CASTRO, C.; LOGAN, T. J. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, v. 55, n. 5, p. 1407–1413, 1991.

CASTRO FILHO, C. DE; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 3, p. 527–538, 1998.

CHAER, G. et al. Comparative resistance and resilience of soil microbial communities and enzyme activities in adjacent native forest and agricultural soils. **Microbial Ecology**, v. 58, n. 2, p. 414–424, 2009.

- CHERUBIN, M. R. et al. Physical, chemical, and biological quality in an oxisol under different tillage and fertilizer sources. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 39, n. 2, p. 615–625, 2015.
- CHERUBIN, M. R. et al. Soil quality indexing strategies for evaluating sugarcane expansion in Brazil. **PLoS ONE**, v. 11, n. 3, p. 1–26, 2016.
- CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 61–82, 2008.
- CLAASSENS, S. et al. Soil microbial community function and structure in a post-mining chronosequence. **Water, air, and soil pollution**, v. 194, n. 1–4, p. 315–329, 2008.
- CLAESSEN, M. E. C. et al. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. [s.l.: s.n.]. v. 2
- COLEMAN, D. C.; CALLAHAM, M. A.; CROSSLEY JR, D. A. **Fundamentals of soil ecology**. [s.l.] Academic press, 2017.
- CORTEZ, C. T. et al. Soil microbial properties in Eucalyptus grandis plantations of different ages. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 14, n. 3, p. 734–742, 2014.
- COSTA, C. et al. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1311–1321, 2012.
- COSTA, J. R. M. et al. Diagnóstico das condições sócioeconômicas, políticas, culturais e ambientais do assentamento de reforma agrária Baeté-região da Mata Sul de Pernambuco. **Cadernos de Agroecologia**, v. 8, n. 2, 2013.
- COSTA, M. R. DA. Avaliação do potencial de aproveitamento de Reservatórios Constituídos Por Barragens Subterrâneas No Semi-Árido Brasileiro. 2002.
- CUNHA, E. DE Q. et al. Atributos físicos do solo sob diferentes preparos e coberturas influenciados pela distribuição de poros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 14, n. 11, 2010.
- DA SILVA, F. H. B. B. et al. Zoneamento agroecológico do estado de Pernambuco. 2001.
- DA SILVA, M. S. L. et al. Barragem subterrânea: água para produção de alimentos. **Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2007.
- DE ARAÚJO, E. A. et al. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 1, p. 187–206, 2012.
- DE ARAUJO FILHO, R. N. et al. Recovery of carbon stocks in deforested caatinga dry forest soils requires at least 60 years. **Forest Ecology and Management**, v. 407, p. 210–220, 2018.
- DE FARIAS, S. G. G. et al. Fisionomia e estrutura de vegetação de caatinga em diferentes ambientes em serra talhada - Pernambuco. **Ciencia Florestal**, v. 26, n. 2, p. 435–448, 2016.
- DE FREITAS, L. et al. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v. 26, n. 1–2, 2017.

DE MELO SOUZA, N. G. et al. TECNOLOGIAS SOCIAIS VOLTADAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. **Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, v. 12, n. 3, 2016.

DE SOUZA FILHO, H. M. et al. **Agricultura Familiar e Tecnologia no Brasil: características, desafios e obstáculos**, 2017.

DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v. 120, n. 3–4, p. 201–214, 2004.

DIAS, D. G. et al. Produção do capim Piatã submetido a diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 19, n. 4, 2015.

DORAN, J. W. Soil health and sustainability. **Advances in Agron.**, v. 56, p. 1–54, 1996.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied soil ecology**, v. 15, n. 1, p. 3–11, 2000.

DOS SANTOS, V. M. et al. BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 10, n. 0, p. 195–226, 2015.

DUMANSKI, J.; PEIRETTI, R. Modern concepts of soil conservation. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 1, n. 1, p. 19–23, 2013.

EGITO, R. H. DO T. et al. Water Resources Policy for the Brazilian Semiarid Region. 2016.

ELHAG, M.; BAHRAWI, J. A. Soil salinity mapping and hydrological drought indices assessment in arid environments based on remote sensing techniques. **Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems**, v. 6, n. 1, p. 149, 2017.

ESPINOZA GUARDIOLA, M. D. et al. Chemical and physical fractions of soil organic matter under various management regimes in Roraima, Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, 2017.

FAO, I. Status of the World's Soil Resources (SWSR)—Main Report. **Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy**, v. 650, 2015.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. **Física do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 1–27, 2010.

FILHO, J. T. et al. Atributos de solo determinantes para a estimativa do índice de estabilidade de agregados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 3, p. 436–441, 2012.

FRACETTO, F. J. C. et al. Estoques de carbono e nitrogênio no solo cultivado com mamona na Caatinga. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1545–1552, 2012.

FRANÇA, F. M. C. et al. **INDICADORES INTEGRADOS DE SUSTENTABILIDADE E ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITERIAL DE BARRAGENS SUBTERRÂNEAS NO ESTADO DO CEARÁ**. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ, 2016.

FRANCHINI, J. C. et al. Microbiological parameters as indicators of soil quality under

various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 92, n. 1–2, p. 18–29, 2007.

FRANCISCO, P. R. M. Os Limites Do Semiárido Brasileiro. **Manejo de plantas xerófilas no semiárido**, n. January 2013, p. 270, 2013.

FREITAS, D. et al. Water Quality of Cisterns and Underground Dams in Semiarid Regions: Case Study of Afogados da Ingazeira, Pernambuco – Northeast Brazil. **The 12nd International Specialized Conference on Watershed & River Basin Management. Internacional Water Association (IWA)**, n. 2003, 2011.

FREITAS, M. J. DE et al. Avaliação de indicadores de sustentabilidade em agroecossistemas com barragens subterrâneas—a percepção dos agricultores na Bahia. **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n. 3, 2016.

FRISBIE, J. A.; GRAHAM, R. C.; LEE, B. D. A plaster cast method for determining soil bulk density. **Soil Science**, v. 179, n. 2, p. 103–106, 2014.

FURTADO, D. A. et al. Tecnologias adaptadas para o desenvolvimento sustentável do semiárido brasileiro. **Embrapa Algodão-Livros científicos (ALICE)**, 2014.

GAMA-RODRIGUES, A. C. DA; FORESTIERI DA GAMA-RODRIGUES, E.; BRITO, E. C. DE. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho-Amarelo na região Noroeste Fluminense (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, 2007.

GOMIERO, T. Soil degradation, land scarcity and food security: Reviewing a complex challenge. **Sustainability (Switzerland)**, v. 8, n. 3, p. 1–41, 2016.

GONÇALVES, D. A. et al. Compactação Do Solo Na Integração Soja-Pecuária. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 37, n. 6, p. 1699–1708, 2013a.

GONÇALVES, F. C. et al. Métodos De Determinação Da Densidade Do Solo Em Diferentes Sistemas De Manejo. **Energia na Agricultura, Botucatu**, v. 28, n. 3, p. 165–169, 2013b.

GREINER, L. et al. Soil function assessment: review of methods for quantifying the contributions of soils to ecosystem services. **Land Use Policy**, v. 69, n. September, p. 224–237, 2017.

GRÊT-REGAMEY, A. et al. Review of decision support tools to operationalize the ecosystem services concept. **Ecosystem Services**, v. 26, p. 306–315, 2017.

GUBIANI, P. I.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Valores críticos de densidade do solo avaliados por condições de contorno. **Ciência Rural**, v. 44, n. 6, 2014.

GUEDES, E. M. S. et al. Impacts of different management systems on the physical quality of an Amazonian Oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1269–1278, 2012.

GUIMARÃES, R. DOS R.; LOURENÇO, J. N. DE P.; LOURENÇO, F. DE S. Métodos e técnicas de diagnóstico participativo em sistemas de uso da terra: apostila de curso. **Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos**, 2007.

HAIR, J. F.; RINGLE, C. M.; SARSTEDT, M. Partial least squares structural equation modeling: Rigorous applications, better results and higher acceptance. 2013.

HATFIELD, J. L.; SAUER, T. J.; CRUSE, R. M. Soil: The Forgotten Piece of the Water, Food, Energy Nexus. In: **Advances in Agronomy**. [s.l.] Elsevier, 2017. v. 143p. 1–46.

HAYGARTH, P. M.; RITZ, K. The future of soils and land use in the UK: soil systems for the provision of land-based ecosystem services. **Land use policy**, v. 26, p. S187–S197, 2009.

HENGL, T. et al. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. **PLoS one**, v. 12, n. 2, p. e0169748, 2017.

IBGE, I. B. DE G. E. E. **Município de Serra Talhada**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/serra-talhada/panorama>>. Acesso em: 6 jun. 2018.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 79, n. 1, p. 9–16, 2000.

IZQUIERDO, I. et al. Use of microbiological indicators for evaluating success in soil restoration after revegetation of a mining area under subtropical conditions. **Applied Soil Ecology**, v. 30, n. 1, p. 3–10, 2005.

JACOMINE, P. K. T. et al. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco. **Embrapa Solos-Séries anteriores (INFOTECA-E)**, 1973.

JENNY, H. **Factors of soil formation: a system of quantitative pedology**. [s.l.] Courier Corporation, 1994.

JENNY, H. **The soil resource: origin and behavior**. [s.l.] Springer Science & Business Media, 2012. v. 37

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. **Multivariate analysis**. [s.l.] Wiley Online Library, 2002.

JONG VAN LIER, Q. DE. Revisiting the S-index for soil physical quality and its use in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 1–10, 2014.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 1, p. 1–13, 2010.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size Distribution of Aggregates1. **Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling**, n. methodssoilana, p. 499–510, 1965.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate Stability and Size Distribution. **Methods of Soil Analysis, Part 1 - Physical and Mineralogical Methods**, v. 9, n. 9, p. 425–442, 1986.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relação solo planta**. [s.l.] Agronômica Ceres, 1979.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. Handbuch der klimatologie. **Gebrüder Borntraeger, Berlin**, 1936.

- KUWANO, B. H. et al. Soil quality indicators in a rhodic kandiodult under different uses in northern Parana, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 50–59, 2014.
- LEPSCH, I. F.; MENK, J. R. F.; OLIVEIRA, J. B. DE. Carbon storage and other properties of soils under agriculture and natural vegetation in Sao Paulo State, Brazil. **Soil Use and Management**, v. 10, n. 1, p. 34–42, 2014.
- LIMA, A. C. R. et al. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 64, p. 194–200, 2013.
- LIMA, Y. B. DE et al. Accumulation of salts in the soil and growth of cowpea under salinity and phosphorus fertilization 1. v. 5, p. 765–773, 2017.
- LIMA, R. DA C. C.; CAVALCANTE, A. DE M. B.; PEREZ-MARIN, A. M. Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Campina Grande: INSA-PB**, 2011.
- LISBOA, F. et al. **The influence of litter quality on the relationship between vegetation and below-ground compartments: A Procrustean approach**. [s.l.: s.n.]. v. 360
- LISBOA, F. et al. **The match between microbial community structure and soil properties is modulated by land use types and sample origin within an integrated agroecosystem**. [s.l.: s.n.]. v. 78
- LOPES, F. B. et al. Mapa da qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e Geoprocessamento. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 3, 2008.
- LUNA, L. et al. Restoration techniques affect soil organic carbon, glomalin and aggregate stability in degraded soils of a semiarid Mediterranean region. **CATENA**, v. 143, p. 256–264, 2016.
- MACHADO, L. V. et al. Fertilidade e compartimentos da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo. 2014.
- MACHADO, T. T. V.; DIAS, J. T.; DA SILVA, T. C. Evolução e avaliação das políticas públicas para a atenuação dos efeitos da seca no semiárido brasileiro. **Gaia Scientia**, v. 11, n. 2, p. 84–103, 2017.
- MADHU, M.; HATFIELD, J. L. Dynamics of Plant Root Growth Under Increased Atmospheric Carbon Dioxide. **Published in Agron. J**, v. 105, p. 657–669, 2013.
- MAGRO, T. CRISTINA. Impactos do uso público em uma trilha no planalto do Parque Nacional do Iatatiaia. **Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.**, p. 135, 1999.
- MAIA, C. B. DE F. et al. Soil Organic Matter: Chemical and Physical Characteristics and Analytical Methods. A Review. **Current Organic Chemistry**, v. 17, n. 24, p. 2985–2990, 2013.
- MANCINI, M. S. et al. Exploring ecosystem services assessment through Ecological Footprint accounting. **Ecosystem Services**, 2018.
- MARCOLIN, C. D.; KLEIN, V. A. Determinação da densidade relativa do solo por uma

função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 349–354, 2011.

MARTINS, C. M. et al. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 34, n. 6, 2010.

MCBRATNEY, A.; FIELD, D. J.; KOCH, A. The dimensions of soil security. **Geoderma**, v. 213, p. 203–213, 2014.

MCBRIDE, M. B.; BLASIAK, J. J. Zinc and Copper Solubility as a Function of pH in an Acid Soil 1. **Soil Science Society of America Journal**, v. 43, n. 5, p. 866–870, 1979.

MELO, V. F. et al. Qualidade química e biológica do solo em diferentes sistemas de uso em ambiente de savana savanna environment. p. 101–110, 2017.

MENDONÇA, E. DE S.; MATOS, E. DA SILVA. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, UFV, 2005.

MENEZES, S. F. DA S. et al. **DIAGNÓSTICO RURAL PARTICIPATIVO (DRP) UMA FERRAMENTA NECESSÁRIA PARA INVESTIGAÇÃO/INTERVENÇÃO: EXPERIÊNCIA DO PROJETO CAJUSOL NO TERRITÓRIO DO SERIDÓ (RN)**. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/code2011/chamada2011/pdf/area7/area7-artigo59.pdf>>. Acesso em: 17 jul. 2018.

MOHN, R. et al. Subsurface Micro-Reservoirs for Rural Water Supply in the Ethiopian Highlands. **Landschaft und Nachhaltige Entwicklung (Landscape and Sustainable Development)**, v. 4, p. 85–100, 2012.

MOLIN, J. P. et al. Mensuração da condutividade elétrica do solo por indução e sua correlação com fatores de produção Electrical conductivity by induction and its correlation with yield crop factors. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 2, p. 420–426, 2005.

MONTANDON CHAER, G.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, 2007.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K. Liming influence on soil chemical properties, nutritional status and yield of alfalfa grown in acid soil. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 34, n. 4, p. 1231–1239, 2010.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. DE. **Qualidade física de um cambissolo sob sistemas de manejo** *Revista Brasileira de Ciência do Solo* scielo , , 2013.

MOURA, P. M. et al. Carbon and nutrient fluxes through litterfall at four succession stages of Caatinga dry forest in Northeastern Brazil. **Nutrient cycling in agroecosystems**, v. 105, n. 1, p. 25–38, 2016.

MUÑOZ-ROJAS, M. et al. Soil quality indicators to assess functionality of restored soils in degraded semiarid ecosystems. v. 24, n. August, p. 43–52, 2016.

NACINOVIC, M. G. G.; MAHLER, C. F.; AVELAR, A. DE S. Soil erosion as a function of

different agricultural land use in Rio de Janeiro. **Soil and Tillage Research**, v. 144, p. 164–173, 2014.

NADERI-BOLDAJI, M.; KELLER, T. Degree of soil compactness is highly correlated with the soil physical quality index S. **Soil and Tillage Research**, v. 159, p. 41–46, 2016.

NASCENTE, A. S.; LI, Y.; CRUSCIOL, C. A. C. Soil Aggregation, Organic Carbon Concentration, and Soil Bulk Density As Affected by Cover Crop Species in a No-Tillage System. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 871–879, 2015.

NASCIMENTO, A. et al. **Caracterização Geoambiental em Áreas com Barragem Subterrânea no Semiárido Brasileiro**. [s.l: s.n.].

NASCIMENTO, V. F. et al. Characterization of reservoirs for water supply in Northeast Brazil using high resolution remote sensing. **Rbrh**, v. 22, n. 0, 2017.

NIMMO, J. R.; PERKINS, K. S. 2.6 Aggregate stability and size distribution. **Methods of soil analysis: part**, v. 4, p. 317–328, 2002.

NISHIGAKI, M.; KANKAM-YEBOAH, K.; KOMATSU, M. Underground dam technology in some parts of the world. **Journal of Groundwater Hydrology**, v. 46, n. 2, p. 113–130, 2004.

NUNES, J. S. et al. Impact of land degradation on soil microbial biomass and activity in Northeast Brazil. **Pedosphere**, v. 22, n. 1, p. 88–95, 2012.

NWER, B.; ALI, A.; ZURQANI, H. **Soil Salinity Mapping Model Developed Using RS and GIS in Libya**. Global Science & Technology Forum. **Anais...**2013

OLIVEIRA, F. C. et al. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 26, n. 2, 2002.

PADILHA, K. DE M. et al. Indicadores biológicos de dois solos com a incorporação de subproduto da agroindústria de café. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 38, n. 5, p. 1377–1386, 2014.

PAREYN, F. G. C. Os recursos florestais nativos e a sua gestão no Estado de Pernambuco: o papel do manejo florestal sustentável. **GARIGLIO, MA et al. Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília, p. 99–115, 2010.

PAZ, C. P. et al. Soil types influence predictions of soil carbon stock recovery in tropical secondary forests. **Forest Ecology and Management**, v. 376, 2016.

PEREIRA, J. R. Solos salinos e sódicos. **RAIJ, B. van; BATAGLIA, OC; SILVA, NM**, 1982.

PIMENTEL, D. J. O. et al. MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL NO ASSENTAMENTO BATALHA, SANTA MARIA DA BOA VISTA/PE: UMA REFLEXÃO SOCIOAMBIENTAL. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 3, n. 1, 2016.

- PIRES, L. F.; APARECIDO, J.; CARLOS, L. Comparação de métodos de medida da densidade do solo. v. m, p. 161–170, 2011.
- PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M. DA. Physical and chemical properties of a soil under different production systems and forest in the Zona da Mata region of Minas Gerais State (Brazil). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 575–585, 2010.
- PREZOTTI, L. C.; MARTINS, A. G. Guia de interpretação de análise de solo e foliar. **Vitória, ES: Incaper**, 2013.
- RANGEL, L. DE A.; GUERRA, A. J. T. Degradação de trilhas na Reserva Ecológica da Juatinga em Paraty–Rio de Janeiro. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 9, n. 4, 2014.
- RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1609–1623, 2007.
- REGO, A. E. Os sertões e os desertos: o combate à desertificação e a política externa brasileira. **Brasília: Funag**, 2012.
- REICHARDT, K. et al. **Soil spatial variability and its implications on the establishment of water balances**. Transactions of the 14th International Congress of Soil Science, Kyoto, Japan, August 1990. **Anais...1990**
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência & Ambiente**, v. 27, p. 29–48, 2003.
- RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade**, p. 11–19, 2010.
- RICHARDS, L. A. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. **Soil Science**, v. 78, n. 2, 1954.
- RODRIGO-COMINO, J. et al. The multidisciplinary origin of soil geography: A review. **Earth-Science Reviews**, 2017.
- SALTON, J. C. et al. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista brasileira de ciencia do solo. Campinas. Vol. 32, n. 1 (jan./fev. 2008), p. 11-21**, 2008.
- SANTOS, D. R. DOS; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, 2008.
- SANTOS, V. M. DOS; MAIA, L. C. Bioindicadores De Qualidade Do Solo. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 10, n. 0, p. 195–226, 2015.
- SANTOS, S. DE A. et al. Aspectos da Variabilidade Sazonal da Radiação, Fluxos de Energia e CO₂ em Área de Caatinga (Seasonal Variability Aspects of Radiation and Fluxes of Energy

- and CO₂ in a Caatinga Area). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 4, p. 761–773, 2012.
- SCHLOTTER, M. et al. Microbial indicators for soil quality. **Biology and Fertility of Soils**, v. 54, n. 1, p. 1–10, 2018.
- SICARD, E. et al. A new approach in space-time analysis of multivariate hydrological data: Application to Brazil's Nordeste region rainfall. **Water resources research**, v. 38, n. 12, 2002.
- SILVA, B. M. et al. Plant-available soil water capacity: estimation methods and implications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 464–475, 2014.
- SILVA, J. B. G. et al. Avaliação da condutividade elétrica e pH da solução do solo em uma área fertirrigada com água residuária de bovinocultura de leite. **Irriga**, v. Edição esp, n. 1808–3765, p. 250–263, 2012.
- SILVA, S. D. A. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto 1. n. 1, p. 16–23, 2013.
- SILVA, E. V. **Dinâmica da paisagem: estudo de ecossistemas do litoral de Huelva (Espanha) e Ceará (Brasil)** Tese de Doutorado-UNESP, Rio Claro, SP, , 1993.
- SIMÕES, S. M. O. et al. Carbono orgânico e biomassa microbiana do solo em plantios de *Acacia mangium* no Cerrado de Roraima. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 1, p. 23–30, 2010.
- SOBRAL, L. F. et al. Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo. **Embrapa**, 2015.
- SOUSA, D. M. G. DE; MIRANDA, L. N. DE; OLIVEIRA, S. A. DE. Acidez do solo e sua correção. **NOVAIS, RF et al**, 1988.
- SOUZA, R. et al. Balanço hídrico em área de pastagem no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 19, n. 5, 2015.
- STAVI, I.; LAL, R. Agroforestry and biochar to offset climate change: A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, n. 1, p. 81–96, 2013.
- SWINTON, S. M. et al. Ecosystem services from agriculture: looking beyond the usual suspects. **American journal of agricultural economics**, v. 88, n. 5, p. 1160–1166, 2006.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- TEIXEIRA, A. H. DE C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated crops and natural vegetation in the São Francisco River Basin (Brazil) using remote sensing and Penman-Monteith Equation. **Remote Sensing**, v. 2, n. 5, p. 1287–1319, 2010.
- TORRES, F. S. DE M.; PFALTZGRAFF, P. A. DOS S. **Geodiversidade do estado de Pernambuco**. [s.l.] CPRM, 2014.
- TÓTH, G. et al. Monitoring soil for sustainable development and land degradation neutrality. **Environmental monitoring and assessment**, v. 190, n. 2, p. 57, 2018.

- TSIAFOULI, M. et al. **Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe**. [s.l: s.n.]. v. 21
- UNITED NATIONS. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. **General Assembly 70 session**, v. 16301, n. October, p. 1–35, 2015.
- UNITED NATIONS. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Global Action. **Food Policy**, n. May, p. 126–131, 2016.
- USDA, U. S. D. OF A. Keys to soil taxonomy, Soil Survey Staff. **Soil Conservation Service**, v. 12, p. 410, 2014.
- VAEZI, A. R.; ESLAMI, S. F.; KEESSTRA, S. Interrill erodibility in relation to aggregate size class in a semi-arid soil under simulated rainfalls. **CATENA**, v. 167, p. 385–398, 2018.
- VERDEJO, M. E. Diagnóstico rural participativo DRP: guia práctico. **Brasília: Ministério do**, 2006.
- VIANA, R. M. et al. Soil quality indicators for different restoration stages on Amazon rainforest. **Soil and Tillage Research**, v. 140, p. 1–7, 2014.
- VOLCHKO, Y. et al. Incorporating the soil function concept into sustainability appraisal of remediation alternatives. **Journal of environmental management**, v. 129, p. 367–376, 2013.
- WALL, D.; NIELSEN, U.; SIX, J. **Soil biodiversity and human health**. [s.l: s.n.]. v. 528
- WELC, M. et al. Soil bacterial and fungal communities along a soil chronosequence assessed by fatty acid profiling. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 49, p. 184–192, 2012.
- YANG, R. et al. Spatial pattern of soil organic carbon in desert grasslands of the diluvial-alluvial plains of northern Qilian Mountains. **Journal of Arid Land**, v. 6, n. 2, p. 136–144, 6 abr. 2014a.
- YANG, X. et al. Flow partitioning in fully saturated soil aggregates. **Transport in Porous Media**, v. 103, n. 2, p. 295–314, 2014b.
- YE, L. et al. Spatial analysis of soil aggregate stability in a small catchment of the Loess Plateau, China: I. Spatial variability. **Soil and Tillage Research**, v. 179, p. 71–81, 2018.
- YOUNG, R. ORSINI, S. FITZPATRICK, I. Soil degradation : a major threat to humanity. p. 15, 2015.
- ZANGIABADI, M. et al. Effects of Soil Pore Size Distribution on Plant Available Water and Least Limiting Water Range as Soil Physical Quality Indicators. **Pedosphere**, 2017.
- ZEWDU, S.; SURYABHAGAVAN, K. V; BALAKRISHNAN, M. Land-use/land-cover dynamics in Sego Irrigation Farm, southern Ethiopia: A comparison of temporal soil salinization using geospatial tools. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 15, n. 1, p. 91–97, 2016.
- ZHANG, Q. et al. **A meta-analysis of soil microbial biomass levels from established tree plantations over various land uses, climates and plant communities**. [s.l: s.n.]. v. 150

ZHANG, W. et al. Ecosystem services and dis-services to agriculture. **Ecological economics**, v. 64, n. 2, p. 253–260, 2007.