

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

Departamento de Tecnologia Rural

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

AVALIAÇÃO DO EFLUXO DE CO<sub>2</sub> E DOS ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DE  
SOLOS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS E PASTAGEM NO SEMIÁRIDO  
PERNAMBUCANO

Marília Costa de Medeiros

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Soares de Souza

Coorientador: Prof. Dr. Genival Barros Junior

Coorientador: Dr. Eduardo Silva dos Santos

Recife-PE

Fevereiro, 2018

Marília Costa de Medeiros

AVALIAÇÃO DO EFLUXO DE CO<sub>2</sub> E DOS ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DE  
SOLOS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS E PASTAGEM NO SEMIÁRIDO  
PERNAMBUCANO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Soares de Souza

Coorientador: Prof. Dr. Genival Barros Junior

Coorientador: Dr. Eduardo Silva dos Santos

Recife-PE

Fevereiro, 2018

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

M488a Medeiros, Marília Costa de  
Avaliação do efluxo de CO<sub>2</sub> e dos atributos físico-hídricos de solos em sistemas agroflorestais e pastagem no semiárido pernambucano / Marília Costa de Medeiros. – 2018.  
72 f. : il.

Orientador: Eduardo Soares de Souza.  
Coorientador: Genival Barros Junior.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, BR-PE, 2018.  
Inclui referências.

1. Comportamento hidrodinâmico 2. Dióxido de carbono 3. Respiração do solo  
4. Sustentabilidade I. Souza, Eduardo Soares de, orient. II. Barros Junior, Genival, coorient. III. Título

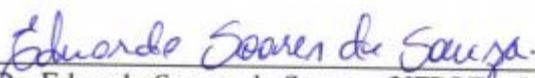
CDD

AVALIAÇÃO DO EFLUXO DE CO<sub>2</sub> E DOS ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DE  
SOLOS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS E PASTAGEM NO SEMIÁRIDO  
PERNAMBUCANO

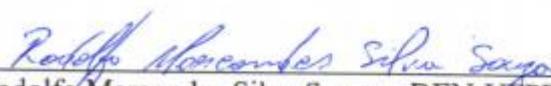
Marília Costa de Medeiros

Dissertação submetida como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco - Departamento de Tecnologia Rural do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

Banca examinadora:

  
Prof. Dr. Eduardo Soares de Souza – UFRPE – UAST (Orientador)

  
Prof. Dr. Luiz Guilherme Medeiros Pessoa – UFRPE (Examinador Externo)

  
Dr. Rodolfo Marcondes Silva Souza – DEN-UFPE (Examinador Externo)

*Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar.*

*Josué 1:9*

Aos meus pais, José Juarez de Medeiros (*in memoriam*) e Mariléa Costa de Medeiros, meus exemplos de determinação; Ao meu esposo, Jeyson Barreto Fernandes, pelo amor, compreensão, amizade, incentivo, cuidado e por sempre me ajudar na concretização de cada sonho; A minha irmã, Simony Ursula Costa de Medeiros por sempre acreditar em mim.

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS, todo poderoso, que sempre cuidou da minha vida, sempre ouviu minhas preces, através da fé me deu força e me iluminou para prosseguir, mesmo diante de tantas dificuldades, tantos obstáculos, sempre me deu o que eu merecia no momento certo, a ti senhor, toda Honra e toda Glória.

Aos meus pais amados: José Juarez de Medeiros (*in memoriam*) e Mariléa Costa de Medeiros, que sempre fizeram de tudo por mim, pela minha educação, vocês são meus heróis, sempre mostraram que eu não estava sozinha, obrigado por todo cuidado e amor incondicional, por tudo, meu muito obrigado.

A meu querido e amado esposo, Jeyson Barreto Fernandes, por todo seu amor, palavra de incentivo e de coragem, paciência, você sempre esteve presente me dando segurança e mostrando-me que mesmo algumas vezes distantes fisicamente, sempre estava ao meu lado, dando-me força para continuar nesta caminhada, preocupando-se com minhas viagens. Obrigado por sempre ouvir minhas lamentações e meus problemas, sua força é extremamente essencial para a realização deste sonho.

Agradeço a meus irmãos queridos: Simony, Ítalo e Junior, por toda torcida, palavras de conselhos e de estímulo, em especial a você minha irmã, por todo cuidado, palavra de estímulo, por todas as ajudas e por sempre esta disposta a me ajudar em qualquer momento. E a toda minha família, por sempre se preocuparem comigo, sou-lhes grata.

Ao meu orientador, Professor Dr. Eduardo Soares de Souza, por toda paciência, atenção, pelos valiosos ensinamentos, compreensão, disponibilidade, informações transmitidas e por acreditar em mim. E a FACEPE pela concessão da bolsa para a realização da pesquisa.

Ao meu coorientador, Professor Dr. Genival Barros Junior, por sua atenção e sua contribuição para a construção deste trabalho.

Aos diversos Professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, obrigado por todos os ensinamentos. Aos colegas do mestrado, obrigado por todas as trocas de experiências, em especial a Mestranda Edja Lillian pelo companheirismo de sempre. A funcionária Walquiria, por sempre me ajudado nos momentos em que precisei.

Ao casal, Rodolfo e Aline, por me acolherem por todo acolhimento na cidade de Serra Talhada/PE, obrigado pela atenção, palavras de incentivo, a você Aline, agradeço pela amizade e que ela permaneça.

Ao Grupo de Estudos de Física do Solo da UAST-UFRPE, pelo acompanhamento e disponibilidade assim que possível para as coletas de dados, meu muito obrigado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, e os colegas que fiz e que me ajudaram por todo o período que fiquei em Serra Talhada/PE, obrigado. Aos funcionários da UAST-UFRPE sou grata por sempre me ajudarem nas horas que precisei.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para o andamento e conclusão deste trabalho, meu muito obrigado.

## RESUMO

Os sistemas agroflorestais têm o potencial de serem regeneradores, melhorar e aumentar a provisão de serviços ecossistêmicos no nível da fazenda e da paisagem, ao mesmo tempo que melhoram a produtividade, a lucratividade e a condição social da agricultura familiar no semiárido brasileiro. Áreas contíguas sob sistemas agroflorestais e pastagens foram caracterizadas e discutidas sob a ótica da dinâmica do efluxo de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) do solo e de algumas propriedades físico-hídricas do solo. Neste trabalho avaliou-se o comportamento e a interação ambiental de três áreas de SAF's e três áreas de pasto nos municípios de Serra Talhada e Triunfo, ambos no Estado de Pernambuco, no período que corresponde a março, maio, julho e setembro de 2017. Os dados experimentais foram analisados em delineamento em bloco casualizado para todas as variáveis, com o esquema fatorial 2 x 4, onde para a comparação entre médias utilizou-se o teste de Tukey a uma probabilidade de 5%. Experimentos de infiltração foram realizados baseados na metodologia "Beerkan", que permitiram estimar a condutividade hidráulica (K<sub>s</sub>) e a sorvidade (S), enquanto que, para a quantificação do efluxo de CO<sub>2</sub> do solo foi utilizado um analisador de gás por infravermelho (IRGA - modelo LI-6400 LI-COR). Paralelo a esses experimentos foram caracterizados também a densidade do solo, a resistência a penetração e a umidade do solo. Entende-se que as propriedades físico-hídricas do solo como resistência a penetração, densidade, condutividade hidráulica, sorvidade, umidade, bem como, a temperatura e o efluxo CO<sub>2</sub> do solo, tem uma relação com o tipo de uso e manejo do solo. Contudo, pode-se comprovar que práticas agroecológica auxiliam melhor o meio ambiente quando comparadas com o pasto, sendo assim uma alternativa viável para a manutenção e a recuperação das principais propriedades do solo.

**Palavra-Chave:** Comportamento hidrodinâmico, dióxido de carbono, respiração do solo, sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

Agroforestry systems have the potential to be regenerative, improve and increase the provision of ecosystem services at the farm and landscape level, while improving family agriculture productivity and profitability. Contiguous areas under agroforestry systems and pastures were characterized and discussed from the point of view of the dynamics of the carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) efflux of the soil and some physical and hydrological properties of the soil. This work evaluated the behavior and environmental interaction of three areas of SAFs and three pasture areas in the municipalities of Serra Talhada and Triunfo, both in the state of Pernambuco, in the period that corresponds to March, May, July and September of 2017. The experimental data were analyzed in a randomized block design for all variables, with the 2 x 4 factorial scheme, where the Tukey test was used at a 5% probability for the comparison between means. Infiltration experiments were carried out based on the "Beerkan" methodology, which allowed the estimation of hydraulic conductivity (K<sub>s</sub>) and sorbidity (S), while for the quantification of soil CO<sub>2</sub> efflux an infrared gas analyzer (IRGA - model LI-6400 LI-COR). Parallel to these experiments were also characterized soil density, resistance to penetration and soil moisture. It is understood that the physical-water properties of the soil as resistance to penetration, density, hydraulic conductivity, sorbidity, humidity, as well as, the temperature and CO<sub>2</sub> efflux of the soil, has a relation with the type of use and soil management. However, it can be verified that agroecological practices help the environment better when compared to the pasture, thus being a viable alternative for the maintenance and recovery of the main properties of the soil.

**Key words:** Hydrodynamic behavior, carbon dioxide, soil respiration, sustainability.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Descrições das áreas de estudo dos sistemas agroflorestais .....	27
<b>Tabela 2.</b> Classe granulométrica e textural da áreas de SAF e Pasto .....	42

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Localização das áreas de estudo. ....	26
<b>Figura 2:</b> Área de agroflorestal do Sítio Souto.....	28
<b>Figura 3:</b> Área de pastagem próximo do Sítio Souto. ....	29
<b>Figura 4:</b> Agrofloresta do Sítio Lajinha. ....	29
<b>Figura 5:</b> Área pastagem degradada próximo do Sítio Lajinha.....	30
<b>Figura 6:</b> Área agroflorestal no Sítio Areal.....	30
<b>Figura 7:</b> Área de pastagem próximo do Sítio Areal.....	31
<b>Figura 8:</b> Croqui da área experimental.....	31
<b>Figura 9:</b> Ensaio de infiltração de água no solo com infiltrômetro de anel simples. ....	33
<b>Figura 10:</b> Ensaio para determinar da Resistência do Solo.....	34
<b>Figura 11:</b> Sistema do IRGA LI6400-XT, adaptado.....	35
<b>Figura 12:</b> Ensaio para avaliar o CO <sub>2</sub> do solo. ....	35
<b>Figura 13:</b> Regime pluviométrico das áreas estudadas .....	38
<b>Figura 14:</b> Dias sem chuvas nas áreas .....	40
<b>Figura 15:</b> Triângulo Textural representando as classes texturais dos solos estudados. Ar - Areia; ArF - Areia Franca; FAAr - Franco-Argilo-Arenoso; FA: franco-argiloso; FS: francosiltoso; FAS: franco-argilo-siltoso; AS: argilasiltosa; AAr: argila-arenosa; A: argila; MA: muito argiloso. ....	41
<b>Figura 16:</b> Curvas de infiltrações acumuladas nas áreas de SAF e PASTO dos Sítios Souto (A), Lajinha (B) e Areal (C) .....	45
<b>Figura 17:</b> Valores médios de K <sub>s</sub> (mm h <sup>-1</sup> ), S (mm h <sup>-1/2</sup> ), θ <sub>s</sub> (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ) e θ <sub>o</sub> (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ) obtidas para os três Sítios (Souto, Lajinha e Areal) nas áreas de SAF e PASTO, durante os meses de março, maio, julho e setembro de 2017 (T1, T2, T3 e T4, respectivamente).....	47
<b>Figura 18:</b> Efeito dos SAF's e das pastagens nos valores de condutividade hidráulica saturada e sorvidade nos meses de março, maio, julho e setembro de 2017. ....	49
<b>Figura 19:</b> Características físicas do solo relacionadas à unidade inicial e final na base volumétrica das áreas estudadas .....	51
<b>Figura 20:</b> Densidade do Solo dos sítios estudados .....	53
<b>Figura 21:</b> Variação da resistência do solo à penetração (RP) na superfície do solo (0 - 10 cm).....	55
<b>Figura 22:</b> Determinação da umidade do solo em (g g <sup>-1</sup> ) .....	56
<b>Figura 23:</b> Avaliação da temperatura do solo.....	57
<b>Figura 24:</b> Efluxo de CO <sub>2</sub> no solo .....	59

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	17
2.1 Geral.....	17
2.2 Específico.....	17
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	18
3.1 Semiárido Nordeste .....	18
3.2 Convivência com o Semiárido .....	19
3.3 Solos em Ambientes Degradados .....	20
3.4 Sistemas Agroflorestal na Agricultura Familiar .....	21
3.5 Efluxo de CO <sub>2</sub> e Propriedades Físico-Hídricas.....	23
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	26
4.1 Área de estudo.....	26
4.2 Procedimentos experimentais para as medições .....	31
4.3 Atributos físico-hídricos de qualidade do solo .....	32
4.3.1 Infiltrômetro de anel simples (Metodologia Beerkan) .....	32
4.3.2 Resistência à Penetração (RP).....	33
4.3.3 Medição do efluxo de CO <sub>2</sub> do Solo.....	34
4.4 Delineamento do Experimento .....	36
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	37
5.1 Distribuição das chuvas nas três localidades .....	37
5.2 Atributos Físico-Hídricos dos solos das áreas estudadas.....	41
5.2.1 Textura e Infiltração da água no solo .....	41
5.2.2 Propriedades Hidrodinâmicas do Solo .....	46
5.2.3 Propriedades Físicas do solo { $\rho$ (g cm <sup>-3</sup> ), RP (MPa) e U (g g <sup>-1</sup> )} .....	52
5.2.4 Temperatura (°C) e Efluxo CO <sub>2</sub> ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) do solo.....	56
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	60
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	61

## 1. INTRODUÇÃO

Notadamente o Semiárido Brasileiro vem sendo um dos ambientes que mais têm sofrido com processos degradantes relacionados, principalmente, pelo uso e ocupação da terra. As inúmeras abordagens sobre estes aspectos, em virtude das atividades e da forma como elas foram e são aplicadas, não são condizentes com a capacidade que o ambiente pode suportar, e a compreensão da utilização do solo serve para esclarecer o entendimento da segregação socioeconômica desta região (CRISPIM et al., 2016).

Há diversas formas predominantes de uso da terra no Semiárido Brasileiro, entre elas a agricultura de sequeiro com baixo nível de tecnologia, a pecuária extensiva, a agricultura convencional irrigada, a exploração irracional da madeira proveniente do Bioma Caatinga, entre outras, são buscadas devido à dependência do uso da água, e tem causado ao longo do tempo a degradação da vegetação e do solo, o que, contraditoriamente, contribui ainda mais para a redução da disponibilidade hídrica em uma região onde impera o déficit hídrico, além de levar ao esgotamento de fontes de energia que são próprias desse ecossistema e que tem, reconhecidamente, uma lenta capacidade de recomposição, agravando ainda mais o quadro de degradação da Caatinga (SALIN et al., 2012).

Os contínuos impactos que o semiárido sofre, como já citado, vêm associados à má utilização das terras, sobretudo, por meio da agricultura que muitas vezes possui um nível tecnológico muito baixo, tem como consequências a degradação ambiental. Arnáez et al. (2015) destaca outro ponto importante em que à falta de práticas conservacionistas estão associadas as altas taxas de perda de solo que originam os diversos problemas socioambientais, ou seja, utilização do solo em excesso, chegando a extrapolar sua capacidade de resiliência, como em áreas com manejo agrícola não conservacionista.

Associado a essa problemática entende-se que é cada vez mais estreito o desenvolvimento da agropecuária no semiárido, devido às áreas encontrarem-se cada vez mais frágeis e com baixos índices pluviométricos, dessa forma, tende a aprofundar o quadro de desigualdade e configurando um ciclo de pobreza e de degradação ambiental (SOUSA et al., 2015).

Determinadas ações antrópicas são capazes de alterar a disponibilidade de água, em termos quantitativos e qualitativos, dessa forma as regiões sofrem com a escassez de água devido às distribuições de chuvas serem de forma irregulares, tanto em tempo como em espaço, resultando em períodos longos de estiagem (MONTENEGRO; MONTENEGRO, 2012).

Marengo (2008) ressalta que em regiões de baixas precipitações os problemas advindos das mudanças climáticas intensificam-se em função do aumento nas altas taxas de evaporação e de temperaturas, com a crise hídrica nestas áreas tornando-se cada vez mais severa, o que tem levado a região semiárida a se tornar árida e com frequência de secas maiores.

Aliado às questões climáticas é importante enfatizar os processos de desertificação em andamento nestas regiões semiáridas, que potencializam a redução no crescimento e no desenvolvimento radicular, faz com que a água que fica retida nos microporos torne-se muitas vezes indisponível para as plantas (SOANE; OUWERKERK, 1994).

Muitas famílias mesmo com as secas tentam sobreviver da agricultura, mas essa atividade sofre impacto com o aumento das temperaturas atmosféricas, além da constante insegurança hídrica que acaba causando uma substituição da vegetação semiárida pela vegetação de ambientes áridos, deste modo, afetando o atual mapa agrícola e colocando em risco a segurança alimentar da população do semiárido (GAMARRA-ROJAS; FABRE, 2017).

O tipo vegetação e as atividades antrópicas são fatores importantes e determinantes quando o assunto é taxa gasosa que existe no solo e, portanto, mudanças nesses fatores podem modificar as respostas dos solos (PERI; BAHAMONDE; CHRISTIANSEN, 2015).

Panosso et al. (2011) afirmam que as alterações no uso da terra modifica os fluxos de trocas gasosas, pois os processos de formação e/ou decomposição da matéria orgânica sofrem aceleração ou retardamento devido aos diferentes uso da terra, a respiração do solo para a atmosfera é um processo sensível a varia dependendo dos fatores ambientais.

Apesar da importância deste processo, ainda há conhecimento limitado da variabilidade da respiração do solo com relação aos tipos de ecossistemas, comunidades de vegetação e respostas a distúrbios naturais ou humanos (HARMON et al., 2011; METCALFE et al., 2011).

No semiárido, faz-se necessário a adoção de práticas de manejo que melhorem a resiliência do solo e auxiliem a agricultura, tendo em vista que no Semiárido Brasileiro segundo o IBGE (2016), as áreas consideradas de pastagens (natural e com manejo) abrangem 31,54% no Brasil e segundo Rodrigues (2012) 46,52% no estado de Pernambuco.

Estudos antigos como o de Nair (1984), ressalvam que os sistemas agroflorestais objetivam aperfeiçoar os efeitos benéficos das interações entre os componentes arbóreos, agrícolas e/ou animais; de tal forma, aumentam a diversificação de produtos; diminuem as necessidades de insumos externos e reduzem assim os impactos ambientais.

Por outro lado é necessário ampliar as evidências que comprovem que os manejos de base agroecológica contribuem para estas questões, pois, como cita Camargo et al. (2010), em uma área cultivada existem, além da variabilidade natural, fontes adicionais de heterogeneidade no solo, que dependerá do manejo adotado.

Quando tratamos a dinâmica de efluxo de CO<sub>2</sub> do solo em função das variações no uso da terra e, apesar de fatores como a temperatura e umidade do solo ser consideradas como os mais importantes para poder determinar as emissões de CO<sub>2</sub> do solo, pouco se sabe sobre as alterações de curto prazo em diferentes sistemas (JANSSENS; KOWALSKI; CEULEMANS, 2001).

O índice de pluviosidade no semiárido é muito irregular, e as mudanças na precipitação podem afetar as emissões de CO<sub>2</sub> do solo, pois com a redução da água no solo, os agentes decompositores têm suas atividades reduzidas e a vegetação passa a investir em mudanças na morfologia do sistema radicular como uma estratégia adicional para aumentar a absorção de água e na redução da área específica das folhas para reduzir a perda de água. (METCALFE et al., 2010).

Diante desse contexto e da condição climática atual da região, se faz necessário estudar como esses manejos conferem maior capacidade de adaptação à seca e conseqüentemente proporcionam menor vulnerabilidade e maior sustentabilidade aos sistemas agrícolas do semiárido. Há uma necessidade premente de compreender o funcionamento dos sistemas agroecológicos durante os períodos de limitação de água para avaliar a sua capacidade de recuperação. Compreender esse sistema agrícola e de pastagem, associado com a dinâmica da água e da respiração nos solos, torna-se essencial para a previsão das taxas futuras e as conseqüências das mudanças globais.

Neste sentido, a proposta desse trabalho é estudar a resistência agroecológica diante de eventos extremos, como a seca registrada nos últimos anos, comparando os solos onde o sistema agroflorestal e pastagem são praticados.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Neste trabalho, foram estudadas seis áreas contíguas, sendo (i) três sistemas agroecológicos e (ii) três pastos, de forma a comparar o uso da prática agroecológica como uma alternativa viável para a manutenção e recuperação das principais propriedades físico-hídricas e da respiração de solos atingidos por longo período de estiagem, com aqueles conduzidos sob a forma convencional de manejo de pastagem em regiões Semiáridas.

### **2.2 Específico**

- Estudar a variabilidade do fluxo de CO<sub>2</sub> de solos em áreas de sistema agroflorestal e de pasto;
- Avaliar a condutividade hidráulica, a sorvidade e a resistência a penetração de solos das áreas determinadas após evento extremo de estiagem;
- Verificar a influência do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo obtidos com o analisador de infravermelho, com a temperatura e umidade do solo.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Semiárido Nordeste

De acordo com Furtado et al. (2014), a Região do Semiárido Brasileiro possui 980.133 km<sup>2</sup>, o que abrange cerca de 42,6% da população do Nordeste (23,5 milhões de pessoas), tornando-a uma das regiões semiáridas mais populosas do mundo, apesar de se caracterizar pela evapotranspiração potencialmente elevada, eventos com longos períodos de estiagem, reduzida capacidade de retenção de água nos solos que limitam conseqüentemente seu potencial produtivo.

Quando se trata do tema semiárido sabemos que vai envolver uma referência climática, no qual é um fator importante na característica do ecossistema desta região, que é o baixo índice de pluviosidade, o período chuvoso dura em torno de três ou quatro meses durante o ano, a um índice de insolação grande, pois o sol predomina no ano quase todos os dias, decorrendo temperaturas muito altas, devido esse e outros fatores o solo desta região é propenso à desertificação, o ecossistema dessa área tem propriedades particulares, na região do estado de Pernambuco, predomina o bioma da Caatinga (TEIXEIRA, 2016).

Segundo Nascimento (2015), o sertão é a zona fisiográfica mais característica da Região Semiárida Brasileira; em decorrência da instabilidade mesoclimática existente ocorre a vulnerabilidade regional, seja por excesso ou por escassez de chuvas, antecipação ou retardo das precipitações, ocasionando cheias ou secas catastróficas, trazendo os mais diversos tipos de problemas, tanto ambientais como socioeconômicos (destruindo lavouras, causando desemprego e fome); estes são aspectos que estão atrelados as incertezas pluviométricas, tanto no tempo como no espaço.

Algumas atividades retratam as mudanças que ocorrem na paisagem semiárida, como também, os impactos ambientais negativos decorrentes dos longos anos de secas, contudo, as inúmeras pautas que surgem no âmbito desta relação socioeconômica e ambiental tratam a temática da seca, decorrente esta do principal fator, a escassez hídrica e da fragilidade ambiental, como única responsável pelo atraso econômico da região, sendo discutidas em boa parte das instituições estatais e privadas como um dos fundamentais fatores de atraso socioeconômico da região, na maioria das vezes, agregada aos fatores de degradação ambiental e pobreza (CRISPIM et al., 2016).

### 3.2 Convivência com o Semiárido

Andrade e Cordeiro (2016) ressaltaram que há algum tempo as políticas públicas para o Semiárido Brasileiro vêm fazendo com que as populações que ali residem, aprendam a conviver com os constantes déficits hídricos significativos que existem há várias gerações não apenas por razão das condições climáticas, como também devido às fracas estruturas econômicas, sociais e políticas ali implantadas.

Oyama e Nobre (2003) destacam que a vulnerabilidade da Caatinga e as implicações das mudanças climáticas representam um forte fator de pressão para a desertificação na região.

Como o Bioma Caatinga é caracterizado por estar inserido em regiões de altas temperaturas, reduzida pluviosidade, solo pouco intemperizado, bem como, pela baixa produção de fitomassa, fatores estes que quando somados às condições edafoclimáticas da região, levam a maioria das populações a adotarem sistemas agrícolas totalmente extrativistas. Na pecuária destaca-se o superpastoreio sendo que na agricultura impera os desmatamentos indiscriminados, as queimadas e períodos de pousio inadequados. Aliado a tudo isto ainda existe uma intensa extração de lenha e madeira para atender à demanda familiar, de cerâmicas e padarias, que acaba colaborando com a drástica redução da cobertura vegetal nas bacias hidrográficas situadas na região do Bioma (ARAÚJO FILHO, 2002).

No Semiárido brasileiro existem inúmeras intervenções que tentam promover a viabilidade da região, indo de estudos que visam a distribuição dos recursos hídricos para os mais variados fins, entre eles projetos de canais para irrigação, práticas de piscicultura, construção de poços artesanais tubulares e uma maior atenção às condições meteorológicas para identificação dos períodos mais chuvosos e mais secos (SILVA, 2012). Sabe-se que a falta de água afeta milhares de pequenos agricultores que, muitas vezes, ao perderem a safra de grãos, como feijão e/ou milho, perdem também a garantia de estocar um mínimo de alimento para a segurança alimentar, bem como, parte da renda que poderia obter para suprir as demais demandas da família, ao assumirem, diante das poucas alternativas para o cultivo que se adaptam as restrições de umidade que existem no solo e do clima, a opção pelos cultivos de sequeiro em suas áreas.

Altieri (1999) destacou a importância dos sistemas agroflorestais como uma técnica eficiente de convivência com o semiárido, por se tratar de combinações que mesclam a agricultura e/ou pecuária com as florestas, com viés de produção sustentáveis na mesma propriedade. Essa estratégia, de acordo com o autor, tem se mostrado promissora em

programas de desenvolvimento rural de bases agroecológicas, principalmente, por representar conceito de uso integrado da terra em sistemas de baixo consumo de insumos externos, que se adaptam particularmente às circunstâncias dos pequenos agricultores.

Santos (2011) ressalta que, nas atuais circunstâncias, outro fator a ser considerado na busca de ações de convivência com o Semiárido é a preocupação com a intensificação da escassez hídrica devido às mudanças climáticas; de acordo com a expressão do autor, examinar as particularidades relacionadas pelas exigências demandadas pelas terras secas, é, antes de tudo, e principalmente, envolver a teia de relações complexas entre as relações humanas e os elementos naturais.

### 3.3 Solos em Ambientes Degradados

A degradação do solo implica em um declínio na sua qualidade com redução no atendimento das funções e serviços do ecossistema; deste modo, a degradação do solo pode ser considerada um problema global do século 21, contudo, alguns estudos recentes têm apontado para a redução de estoques de carbono no solo em sistemas menos estáveis, como pastagem e plantio convencional, quando comparados às áreas de mata nativa ou ambientes similares, como os sistemas agroflorestais (LAL, 2009; GUERRA et al., 2005; ALVES et al., 2011).

Lal (2015), conceitualmente, define quatro tipos de degradação do solo que são: física; química; biológica e ecológica. Este autor alega que a degradação física do solo geralmente resulta em uma redução nos atributos estruturais, agravando a susceptibilidade do mesmo para problemas como: compactação, infiltração de água, aumento do escoamento superficial, susceptibilidade a erosão do vento e da água, aumento da temperatura e uma maior propensão para desertificação. No tocante a degradação química, o mesmo a caracteriza pela presença em elevado nível da acidificação, da salinização, com conseqüente redução da CTC, entre outros. Já a degradação biológica do solo passa a ser caracterizada pelo autor quando reflete o esgotamento do carbono orgânico, com perda progressiva de sua biodiversidade e aumento das emissões de gases que aumentam o efeito estufa (GEE) do solo para a atmosfera, entre outros problemas. Por fim, este autor considera que a degradação ecológica reflete uma combinação dos três fatores levantados anteriormente e que levam a interrupção nas funções do ecossistema, entre as quais merecem destaque a infiltração e purificação da água, perturbações do ciclo hidrológico, queda na produtividade do bioma, entre outras.

Somando-se a isto, Lavado e Taboada (2009) alegam que a produção de forma intensiva de monocultivos e em grande escala gera uma degradação ambiental, provocando

perda na biodiversidade local, como também, desmatamento, aumento da erosão, esgotamento de nutrientes pelo uso excessivo do solo e leva a utilização massiva de fertilizantes e agrotóxicos nas lavouras, que por sua vez geram diversos outros tipos de poluições, causando prejuízos à qualidade e à segurança sanitária dos alimentos.

Diante disso, a degradação física do solo, também causa ambientes mais impactados, seja por atividades convencionais de manejo do solo ou de qualquer outra atividade, que prejudiquem diretamente as condições sociais e intensificando também a compactação do solo, dificultando o desenvolvimento das plantas (SEQUINATTO et al., 2014; MOTA et al., 2012).

Problemas como estes não são processos tão simples de serem revertidos, pois ecossistemas degradados podem perder seus meios naturais de regeneração biótica ou essa tornar-se muito lenta (SHONO et al., 2007; RODRIGUES et al., 2010).

Estes aspectos são ainda mais relevantes em áreas de pastos degradados devido a falta de cobertura dos solos, cujas atividades de exploração impactam diretamente nos atributos do solo; por outro lado, Vilela et al. (2017) explicam que a recuperação de áreas degradadas de pastagem proporciona o uso mais eficiente do pasto, desde que reconstrua-se as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, com conseqüente aumento da capacidade de suporte da forrageira, além de impedir que novos desmatamentos sejam realizados, preservando de forma indireta a fauna e a flora.

### 3.4 Sistemas Agroflorestal na Agricultura Familiar

Ao longo dos séculos a conservação da biodiversidade e os manejos tradicionais praticados pelas comunidades de vários locais vêm associados com as mudanças climáticas, dessa forma, devem ser apreciados, pois, muitas vezes, quando unimos as práticas cotidianas e atitudes sociais, temos como resultados formas para manutenção da paisagem e da cultura local nas áreas em exploração (COSTA; ARRUDA; OLIVEIRA, 2002).

As mudanças climáticas apesar de estarem em constantes discussões e de seus efeitos no semiárido, ainda está distante de consensos, pois, os prováveis impactos advindos com essas mudanças climáticas podem comprometer de forma expressiva a atividade agropecuária, que muitas vezes apontam para cenários negativos nas condições climáticas brasileiras, indicando possíveis reduções na disponibilidade de água e maior variabilidade interanual da precipitação no semiárido (GAMARRA-ROJAS; FABRE, 2017).

Quando se trata de agricultura e da pecuária sabe-se que elas têm sido as atividades que mais causam impactos ao meio ambiente, pois, a utilização de grande quantidade de água

doce que temos disponível é um dos problemas que vem acoplado a essas atividades, causando em muitos casos a contaminação ambiental e a intensificação dos processos erosivos, onde às práticas de desmatamentos e queimadas são responsáveis por parte significativa da emissão de gases do efeito estufa para a atmosfera (FAO, 2012; MCT, 2009).

Nesse contexto, busca-se através da agricultura familiar, responsável por mais de 70 % dos alimentos destinados à população brasileira, a integração dos sistemas de produção com ênfase no processo de transição agroecológica. Por outro lado, novas alternativas sustentáveis de uso do solo também vêm sendo discutidas ao longo dos anos como é o caso dos Sistemas Agroflorestais (SAF's), que contribuem para atender as necessidades do mercado consumidor de alimentos e subprodutos ao mesmo tempo em que promovem melhorias ecológicas. Este é um dos importantes aspectos deste tipo de sistema produtivo, pois supre a partir de suas atividades principais as necessidades econômicas, sociais e ambientais, sobretudo em regiões onde a utilização dos recursos naturais e a produção agrícola já estão muito prejudicadas, dos consumidores e dos seres que habitam os seus ecossistemas (FLORES; RIBASKI; MATTE, 2010).

Oliveira et al. (2011), afirmam que os sistemas agroflorestais têm como finalidade criar vários estratos vegetais, visando imitar um bosque natural. Em outras palavras, nos SAF's os elementos estruturais básicos e a chave para a estabilidade do sistema são as árvores e/ou arbustos, pois exercem influência no processo de ciclagem de nutrientes, no aproveitamento da energia solar e na captação e guarda da água da chuva no subsolo.

Desse modo as espécies geralmente utilizadas apresentam diferentes ciclos, portes e funções que proporcionam ao ambiente edáfico um aumento na biodiversidade, o que promove melhorias físico-químicas, hídricas e microbiológicas do solo (SILVA et al., 2011).

Diante disso, Breman e Kessler (1997) alegam que alternativas racionais de uso do solo precisam ser propostas e estudadas e que os sistemas agroflorestais vêm sendo notados como aqueles de produção agrícola sustentável, sendo particularmente atraentes para regiões subdesenvolvidas, onde o uso de insumos externos é inviável. Esses sistemas possibilitam ainda uma maior diversidade de produtos a serem cultivados, o que alivia a sazonalidade, fenômeno comum no setor agropecuário (IZAC; SANCHEZ, 2001).

Os SAF's proporcionam inúmeras vantagens que corroboram para o estabelecimento de modelos de produção mais estáveis e que podem abrandar as adversidades que são encontradas pela agropecuária conduzidas nas regiões semiáridas. Esses sistemas proporcionam uma maior cobertura no solo, favorecendo a preservação da fauna e da flora, como também, ocasionam a ciclagem de nutrientes a partir da ação de diferentes sistemas

radiculares e propiciando um contínuo aporte de matéria orgânica no ambiente (BREMAN; KESSLER, 1997; SÁNCHEZ, 2001; SCHROTH et al., 2002).

Parron et al. (2015) afirmam que sistemas de produção conservacionistas, quando confrontados com às práticas intensivas da agricultura convencional, apresentam grande potencial na redução das emissões de gases de efeito estufa (GEEs), pela redução do consumo de combustíveis durante o processo de produção e ainda podem aumentar os estoques de carbono orgânico do solo (COS), mantendo e melhorando os serviços ambientais e atenuando os efeitos negativos provocados pelas mudanças climáticas.

Cunha et al. (2016) em sua pesquisa avaliou a saída de CO<sub>2</sub> do solo na interface solo-atmosfera, ou efluxo de CO<sub>2</sub> do solo, em sistemas agroflorestais, o que os possibilitou o entendimento das variações na respiração do solo condicionada pelos fatores abióticos e bióticos existentes nos SAF's.

De fato, as vantagens que os sistemas agroflorestais apresentam são muitas, pois oferecerem ao longo do ano uma produção diversificada e contínua, sem degradar o solo, tornando-se um modelo agrícola próspero, unindo produção agrícola e a conservação ambiental. O desenvolvimento da prática agroflorestal se contrapõe aos modelos atuais da monocultura, fazendo com que se ampliem os benefícios ambientais e econômicos dos locais onde a prática é adotada. (AYRES; RIBEIRO, 2010).

### 3.5 Efluxo de CO<sub>2</sub> e Propriedades Físico-Hídricas

As ações de perda de efluxo de CO<sub>2</sub> do solo são representadas pelas trocas gasosas entre o solo e a atmosfera e governadas pela difusão do CO<sub>2</sub> por meio dos poros do solo, que podem ser influenciadas pelas propriedades do solo ou pela cobertura vegetal presente no local (PINTO JÚNIOR et al., 2009). Existem fatores considerados principais que podem influenciar na respiração do solo entre os quais: a taxa de produção no solo; os gradientes de temperatura; a concentração na interface solo-atmosfera; as propriedades físicas do solo; as flutuações da pressão atmosférica do ambiente (VALENTINI et al., 2008).

Entretanto, as variáveis climáticas têm relações diretas com os efluxo de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Desse modo, Brito et al. (2010) reafirmam que os principais fatores que afetam as emissões são a temperatura (do ar e do solo) e o teor de umidade do solo, adicionados às relações climáticas e topográficas do local. O controle da respiração do solo pode ser afetado pela topografia, seja diretamente através da dinâmica da água superficial e subterrânea, nutriente disponibilidade e conteúdo de matéria orgânica, ou indiretamente através da textura do solo e vegetação (ARIAS-NAVARRO et al., 2017).

Ainda que os fatores bióticos e abióticos controlem o efluxo de CO<sub>2</sub> do solo, segundo Silva et al. (2016) os fatores bióticos que compõe as espécies vegetais pode servir como um importante controlador do efluxo de CO<sub>2</sub> do solo, tanto diretamente por meio do aporte de carbono no solo, como indiretamente por modificar o microclima. No entanto, o efluxo de CO<sub>2</sub> do solo em apenas um tipo de cultura pode ser menor do que em áreas com mais de um tipo de espécies, em função dos tipos de sistemas produtores de biomassa acima do solo, acréscimo de carbono no solo e produção de raízes serem diferentes (DIAS et al., 2010).

Dessa forma, ganha importância os sistemas que buscam produzir alimentos e subprodutos a partir da diversidade de cultivos através da implantação de sistemas agroecológicos. Como Rena e Guimarães (2000) afirmam, determinadas práticas de manejo que comprometam o sistema radicular também podem influenciar nas emissões de efluxo do CO<sub>2</sub> do solo. Deste modo, o uso de práticas que minimizem as alterações na estrutura do solo promove um sistema físico-hídrico favorável à infiltração, retenção e disponibilidade de água, incremento em carbono orgânico do solo de diferentes tipos e composições, além de provocar o crescimento e o desenvolvimento do sistema radicular das plantas (PEZARICO et al., 2013).

Em síntese as medições do efluxo do CO<sub>2</sub> do solo podem ser analisadas de diferentes maneiras, entre as quais se destacam as armadilhas de álcalis, as covariância de vórtices turbulentos e as câmaras fechadas que absorvem CO<sub>2</sub> por infravermelho (IRGA). Contudo, existem diferenças na exatidão, na resolução espacial e temporal, e aplicabilidade de cada um destes recursos. Neste sentido o IRGA vem sendo muito utilizado, face a boa qualidade dos resultados obtidos a partir da medição com câmaras de respiração do solo colocadas na superfície do mesmo para registrar a razão de acúmulo de CO<sub>2</sub> (JANSSENS et al., 2000).

Portanto, o efluxo de CO<sub>2</sub> é condicionado a uma série de fatores inerentes ao solo, tais como temperatura, umidade (RYU et al., 2009), teor de carbono orgânico (KEMMITT et al., 2008) e os atributos físicos (densidade e porosidade do solo), principalmente por serem responsáveis pela oxigenação do solo e pelo transporte do gás para a atmosfera.

Importante enfatizar também de que paralelo a estas determinações de CO<sub>2</sub> deve levar em conta a significância de analisar os atributos físicos como densidade do solo e porosidade total, pois os valores de resistência à penetração podem ter relação com a intensidade de uso do solo, ou seja, quanto maior intensidade de uso, mais compactação pode existir e interferir na dinâmica da troca gasosa do solo com a atmosfera (BEUTLER et al., 2001).

Desse modo, adensamento e, ou, compactação do solo, resulta no aumento da resistência mecânica à penetração, dessa forma, diminui a permeabilidade do solo e sua taxa

de infiltração de água. Porém faz necessário dizer que ocorre uma significativa diminuição da taxa de infiltração de água no solo em função da intensidade e tipo de uso (ARAÚJO; GOEDERT; LACERDA, 2007).

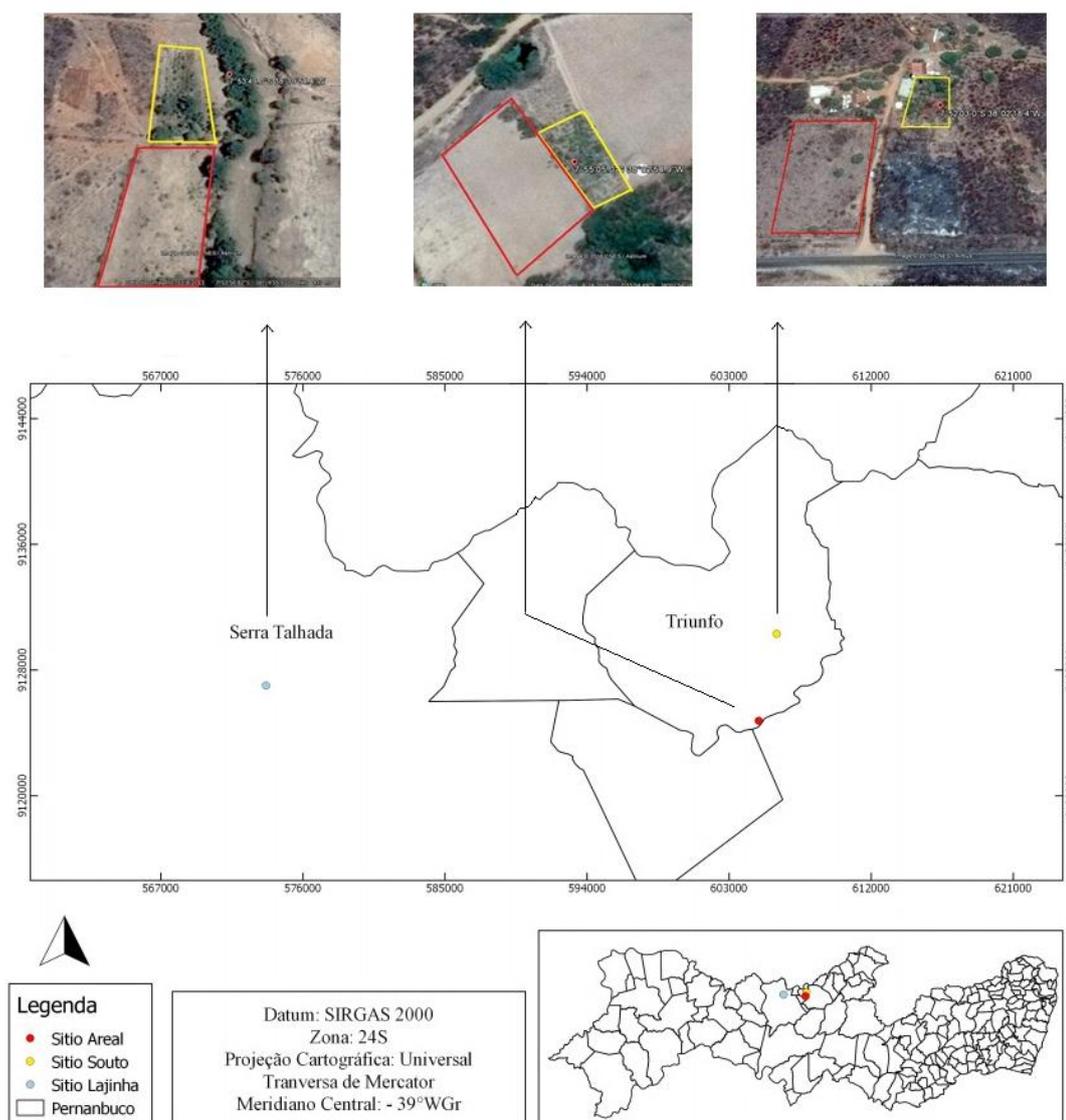
No semiárido os processos hidrológicos como o escoamento superficial, erosão e o transporte de solutos são controlados pela variabilidade da infiltração de água no solo, que é influenciada pela heterogeneidade espacial do relevo e do solo e pelas alterações espacial e temporal do uso do solo e da variação climática (BARROS et al., 2014). Dessa forma, entende-se que a infiltração é um processo que depende fundamentalmente da água disponível para infiltrar, da natureza do solo, do estado da sua superfície e das quantidades de água e ar, inicialmente presentes no seu interior (SOUZA; MARTINS, 2012).

Neste sentido, um importante parâmetro hidrológico deve ser considerado em regiões semiáridas, o escoamento superficial nos sistemas agrícolas, por ser raro de ocorrer e que, quando ocorre, é tipicamente provido pela baixa capacidade de infiltração, associado às altas intensidades das precipitações pluviais, causando relevantes perdas de água por escoamento e uma considerável perda de solo por erosão hídrica. Esta questão ganha ainda mais relevância pelo fato de proporcionar uma baixa capacidade de redistribuição de água para o perfil do solo, o que compromete conseqüentemente o armazenamento desta água no subsolo. A propensão para a dinâmica desses pulsos leva a uma forte sensibilidade da variabilidade ambiental, porém o aumento nos interpulsos (intervalos de estiagem) tem diminuído a capacidade de recuperação desses sistemas no semiárido (KELLENNERS et al., 2010).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

O experimento foi conduzido em 3 (três) áreas, localizadas na Microrregião do Vale do Pajeú, Mesorregião do Sertão do Pajeú (Figura 1). As delimitações das áreas de Sistema Agroflorestal (SAF) e de pastagem em cada sítio, os seus perímetros estão respectivamente destacadas em amarelo e vermelho.



**Figura 1:** Localização das áreas de estudo. Fonte: Adaptado do Google Earth (2017)

O município de Triunfo – PE tem uma área territorial equivalente a 191,516 Km<sup>2</sup> e o seu ponto mais alto tem uma altitude de 1.010 m, porém as duas áreas selecionadas, nomeadas de Sítios Souto e Areal, estão localizados na parte considerada mais baixa do território,

estando a uma altitude de 466 m e de 446 m, respectivamente, mas com uma topografia que verte as águas para a calha do Pajeú. No município de Serra Talhada – PE, com altitude de 429 m e área territorial equivale a 2965,3 Km<sup>2</sup>, foi selecionado o Sítio Lajinha, cujas áreas de SAF e pastagem se encontram na margem do Riacho Cachoeira, afluente do Pajeú.

Alguns detalhes das áreas escolhidas para a realização do experimento estão descritas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Descrições das áreas de estudo dos sistemas agroflorestais e pastagem

	<b>Área 1</b>	<b>Área 2</b>	<b>Área 3</b>
<b>Nome do Local</b>	Sítio Souto	Sítio Lajinha	Sítio Areal
<b>Coordenadas Geográficas</b>	07°52'03"S e 38°02'18,4"W	07°53'49,5"S e 38°19'54,4"W	07°55'05"S e 38°02'54,9"W
<b>Tempo de Agrofloresta</b>	11 anos	9 anos	7 anos
<b>Ordem de Solo</b>	Neossolo Litólico	Neossolo Flúvico	Neossolo Flúvico
<b>Tipos de culturas</b>	Banana, Caju, Laranja, Milho, Acerola, Pinha, Goiaba, Graviola, Mexerica, Limão, Maracujá, Palma, Sabiá, Gliricídia, Jurema Preta e Leucena.	Banana, Caju, Laranja, Milho, Acerola, Pinha, Goiaba, Graviola, Limão, Maracujá, Manga, Coco, Umbu, Cana, Mamão, Romã, Seriguela, Noni, Capim, Palma, Sabiá, Gliricídia, Carabeira, Angico, Ingazeira, Feijão, Macaxeira, Juazeiro, Urucu, Aroeira, Maniçoba, Mandacaru, Quiabo, Sorgo, Alface e Coentro.	Banana, Caju, Laranja, Acerola, Pinha, Goiaba, Coco, Graviola, Manga, Palma, Angico, Sabiá, Gliricídia, Nim e Macaxeira.
<b>Pasto</b>	Vegetação nativa espontânea e muitas rochas.	Na maior parte do ano a vegetação nativa é espontânea com bovinos e caprinos, algumas vezes utilizada para agricultura de sequeiro.	Na maior parte do ano a vegetação nativa é espontânea com bovinos, algumas vezes utilizada para agricultura de sequeiro.

Os três sítios selecionados estão localizados na região semiárida Pernambucana, caracterizada pelo baixo índice de pluviosidade e a ocorrência de grandes períodos de estiagens. Durante grande parte do ano a região do semiárido Pernambucano, tem temperaturas que variam de 18 a 35 °C, o clima é considerado quente, com médias anuais de 24 °C e precipitação pluviométrica de 686 mm/ano e de acordo com a classificação de Köppen enquadra-se no tipo Bwh.

- Área 1 - Sítio Souto

No Sítio Souto, o SAF é considerado pela proprietária como a alternativa mais próspera do ponto de vista ecológico e produtivo na propriedade. Desde a implantação do sistema agroecológico, o ambiente se tornou mais agradável e passou a proporcionar uma renda extra para a família (Figura 2). Paralelo ao SAF, um área é destinada ao cultivo de subsistência de sequeiro em épocas de chuvas, após a colheita a área é destinada aos animais na forma de pasto, assim permanecendo até o novo ciclo de chuvas (Figuras 3).



**Figura 2:** Área de agroflorestal do Sítio Souto. Fonte: Autor (2017)



**Figura 3:** Área de pastagem próximo do Sítio Souto. Fonte: Autor (2017)

- Área 2 - Sítio Lajinha

O sítio tem proximidades com o Riacho Cachoeira, uma das fontes que desaguam no Rio Pajeú, o mesmo pode favorecer o desenvolvimento da área em tempos de cheias. As áreas de SAF e pastagem (Figuras 4 e 5) estão praticamente na mesma cota do leito do riacho, onde se pode identificar, a partir de poço amozanas, um lençol freático próximo das raízes. Evidenciou os benefícios que a implantação do SAF trouxe para a sua família, tanto o proprietário, como os filhos, conseguem obter uma renda com base no que é produzido no local. Esse SAF é o que contém maior diversidade de espécies cultivadas. O pasto é utilizado algumas vezes para agricultura de sequeiro e para o pastoreio de bovinos e caprinos.



**Figura 4:** Agrofloresta do Sítio Lajinha. Fonte: Autor (2017)



**Figura 5:** Área pastagem degradada próximo do Sítio Lajinha. Fonte: Autor (2017)

- Área 3 - Sítio Areal

O terceiro sítio está localizado aproximadamente 30 metros de distância do leito do Rio Pajeú e, apesar de se encontrar as margens do rio, a área reservada pelo agricultor para a instalação do sistema agroflorestal está a aproximadamente 6 metros da cota do leito do rio (Figura 6). Uma área paralela ao SAF, destinada para o cultivo de subsistência de sequeiro e para o pastejo que no momento estava em pousio, foi escolhida para o estudo (Figura 7).



**Figura 6:** Área agroflorestal no Sítio Areal. Fonte: Autor (2017)

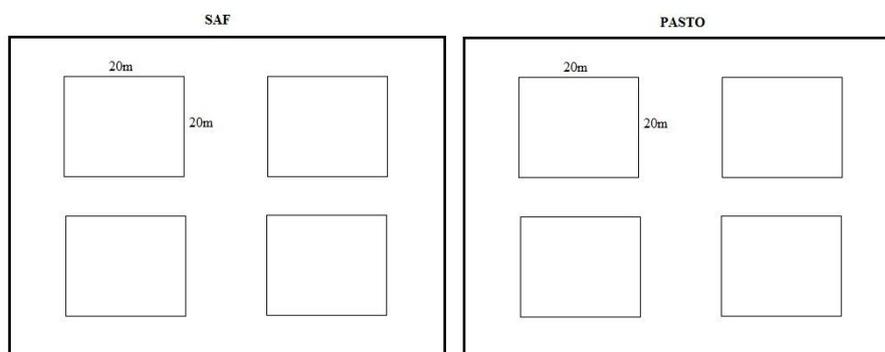


**Figura 7:** Área de pastagem próximo do Sítio Areal. Fonte: Autor (2017)

#### 4.2 Procedimentos experimentais para as medições

Em cada Sítio foi selecionado um ambiente com Sistema Agroflorestal e outro com Pasto, contemplando 6 parcelas no total. Cada uma das 6 parcelas foi dividida em 4 subparcelas de 20m<sup>2</sup> (Figura 8), totalizando 24 subparcelas experimentais, demarcadas por piquetes de madeira, onde no centro de cada subparcela foram instalados os colares de PVC para as medições do efluxo de CO<sub>2</sub> do solo, totalizando 24 colares de PVC.

As medidas foram realizadas nos períodos da tarde, uma medida em cada subparcela dos sistemas, sempre entre os dias 20 a 30 de cada mês. Os meses observados foram os de março, maio, julho e setembro de 2017.



**Figura 8:** Croqui da área experimental. Fonte: Autor (2017)

Foram realizadas coletas de amostras dos solos de cada subparcela para identificação da classe textural na camada de 0-20 cm. A análise granulométrica do solo foi realizada em duas etapas: a dispersão da amostra de solo que consiste na combinação de processos

químicos e desagregação mecânica, o dispersante químico utilizado foi o hexametáfosfato de Na 0,1 mol e a dispersão mecânica foi realizada no agitador tipo Wagner MA 160 por 16h a 50 rpm; e a quantificação das frações do solo, foi realizada através do método da pipeta (EMBRAPA, 2017). Depois de obtido as frações do solo, pode-se identificar as classes texturais, baseando-se no modelo de identificação de classe textural do perfil do solo (triângulo textural).

#### 4.3 Atributos físico-hídricos de qualidade do solo

##### 4.3.1 Infiltrômetro de anel simples (Metodologia Beerkan)

As medidas de infiltração e coletas de solos foram realizadas, aplicando-se a metodologia Beerkan. As medidas de infiltração obtidas pela metodologia Beerkan disponibilizar propriedades hidrodinâmicas como a sorvidade  $S$  ( $\text{mm s}^{-1/2}$ ) e a condutividade hidráulica saturada,  $K_s$  ( $\text{mm s}^{-1}$ ). Os detalhes do método incluindo os dados necessários para a sua aplicação e os cálculos, foram apresentados por Souza et al. (2008).

Uma equação analítica para a infiltração transitória tridimensional foi usada para obter a condutividade hidráulica,  $K_s$  [ $\text{LT}^{-1}$ ], e a sorvidade,  $S$  [ $\text{LT}^{-1/2}$ ], de um solo não saturado (HAVERKAMP et al., 1994). A expressão simplificada da equação da infiltração acumulada para tempos curtos é dada por:

$$I(t) = S\sqrt{t} + \left[ \left( \frac{2-\beta}{3} \right) K_s + \frac{\gamma S^2}{r(\theta_s - \theta_o)} \right] t \quad (1)$$

onde  $r$  (mm) é o raio do cilindro,  $\theta_o$  ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) é a umidade volumétrica inicial,  $\theta_s$  ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) é a umidade volumétrica final é uma constante no intervalo ( $0 < 1$ ), cujo valor é 0,6 (HAVERKAMP et al., 1994) e  $\gamma$  é uma constante teórica, cujo valor é igual a 0,75 (SMETTEM et al., 1994).

Os parâmetros que descrevem esses modelos foram obtidos a partir do programa BEST (Beerkan Estimation of Soil Transfer Parameters through Infiltration Experiments (LASSABATÉRE et al., 2006). Para os testes de infiltração foram utilizados um infiltrômetro de anel simples com diâmetro de 150 mm (PVC), depois de acoplados no solo foi sendo adicionados 100 ml de água, onde o tempo de infiltração desses volumes foram anotados e repetidos até que o fluxo ficasse constante. As coletas de amostras para umidade foi em cilindros de PVC com 5,00 cm de altura e 4,80 cm de diâmetro, partir dai as amostras foram

pesadas para obter a massa úmida e depois colocadas para secar em estufa a 105°C, após isso as amostras foram pesadas novamente para obter a massa seca.



**Figura 9:** Ensaio de infiltração de água no solo com infiltrômetro de anel simples. Fonte: Autor (2017)

#### 4.3.2 Resistência à Penetração (RP)

Para esse ensaio de RP foi determinada a partir do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar/Stolf, que avalia a capacidade de penetração de uma haste metálica submetida aos impactos de um peso que cai de uma altura constante em queda livre. A RP é obtida a partir da contagem do número de impactos necessário para que a haste penetre em determinada camada de solo. Dexter et al., (2007) citam que a determinação da RP em condições de campo tem sido feita, geralmente, com o auxílio de penetrômetros, que são aparelhos fáceis de manusear e não demandam muito tempo para a tomada das medições.

Realizadas os ensaios da RP nos perfis de solos com determinações até 30 cm de profundidade, sendo escolhidas de forma aleatória próxima as medidas de efluxo de CO<sub>2</sub> do solo (Figura 10). Em seguida os dados foram transformados em resistência dinâmica em MPa por meio da equação proposta por Stolf:  $RP \text{ (MPa)} = [5,6 + 6,8 (n^\circ \text{ impac})] 0,098$ , sendo  $n^\circ \text{ impac}$  o número de impactos  $\text{dm}^{-1}$ . Ao lado de cada ponto escolhido foram coletadas amostras de solo para determinar a umidade gravimétrica.

A resistência do solo à penetração (RP) é uma estimativa do impedimento mecânico que o solo oferece às raízes, sendo um dos mais normalmente citados fatores físicos que afetam o crescimento das raízes (SILVA et al., 2008).



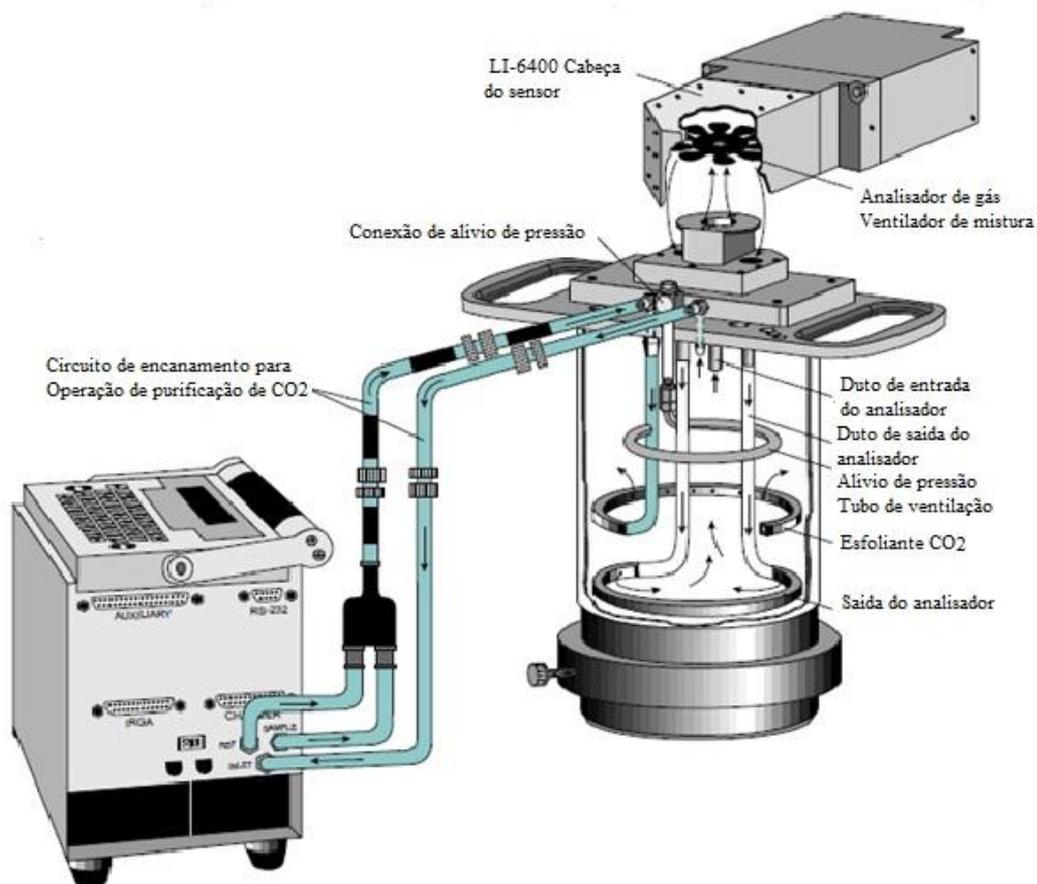
**Figura 10:** Ensaio para determinar da Resistência do Solo. Fonte: Autor (2017)

#### 4.3.3 Medição do efluxo de CO<sub>2</sub> do Solo

Os ensaios de efluxo de CO<sub>2</sub> do solo foram realizados com um analisador de gás por infravermelho (IRGA LI6400-XT LI-COR), baseado na absorção de radiação na banda do infravermelho ( $l > \lambda > 0,7\text{mm}$ ) pelo CO<sub>2</sub>. Durante as medidas, o ar da câmara é retirado do topo da câmara através de um duto analisador de entrada que passa no caminho óptico do analisador de gás. O ar é retornado do analisador de gás através dos dutos de saída do analisador para o coletor próximo da superfície do solo (Figura 11).

Assim a respiração do solo é dada na forma de fluxo obtido através de uma câmara fixa no solo, onde a concentração de CO<sub>2</sub> aumenta no tempo devido à circulação do ar em um volume de controle fechado ( $A=78,5 \text{ cm}^2$ ;  $h=15,0 \text{ cm}$ ), com um termômetro (a 10 cm de profundidade) acoplado ao equipamento que mede a temperatura do solo, no mesmo momento da medição do efluxo de CO<sub>2</sub> (Figura 12).

A preservação do local de medida e a metodologia de coleta de dados são fundamentais para reduzir os erros sistemáticos, uma vez que qualquer perturbação no solo pode provocar uma liberação excessiva de CO<sub>2</sub> diferente da produzida normalmente pela respiração de solo.



**Figura 11:** Sistema do IRGA LI6400-XT, adaptado.



**Figura 12:** Ensaio para avaliar o CO<sub>2</sub> do solo. Fonte: Autor (2017)

Para evitar vazamentos e/ou leituras incorretas causadas por fissuras no solo foram instalados no solo colares de PVC ajustáveis à câmara (com 2,5 cm de penetração). As

medidas foram realizadas após o reequilíbrio do sistema, pois logo após a instalação ocorre rompimento de microcâmaras, capilaridades e sistemas radiculares superficiais, provocando o desequilíbrio do sistema e liberando CO<sub>2</sub>. Para evitar isso as medidas foram realizadas a aproximadamente 10 dias de instalados os colares.

#### 4.4 Delineamento do Experimento

Os dados longitudinais utilizados nesta pesquisa são decorrentes de observações repetidas das variáveis respostas nas mesmas unidades experimentais no período de março, maio, julho e setembro de 2017, onde o delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 4, com quatro repetições. Os tratamentos constituíram dois usos do solo (SAF e PASTO), associados com as medições ao longo dos meses de março, maio, julho e setembro de 2017. As séries de medições abrangeram diferentes ocasiões como os períodos chuvosos e secos. As análises estatísticas foram realizadas no programa estatístico R versão 3.0.1, e o pacote ExpDes.pt (R CORE TEAM, 2017), onde para a comparação entre médias utilizou-se o teste de Tukey a uma probabilidade de 5%.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

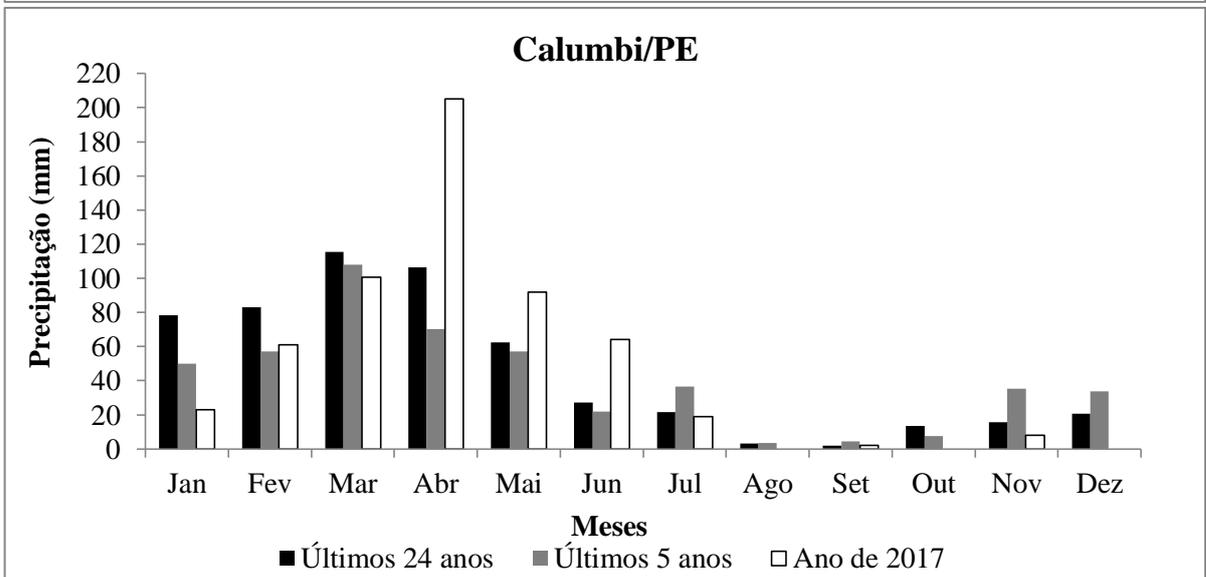
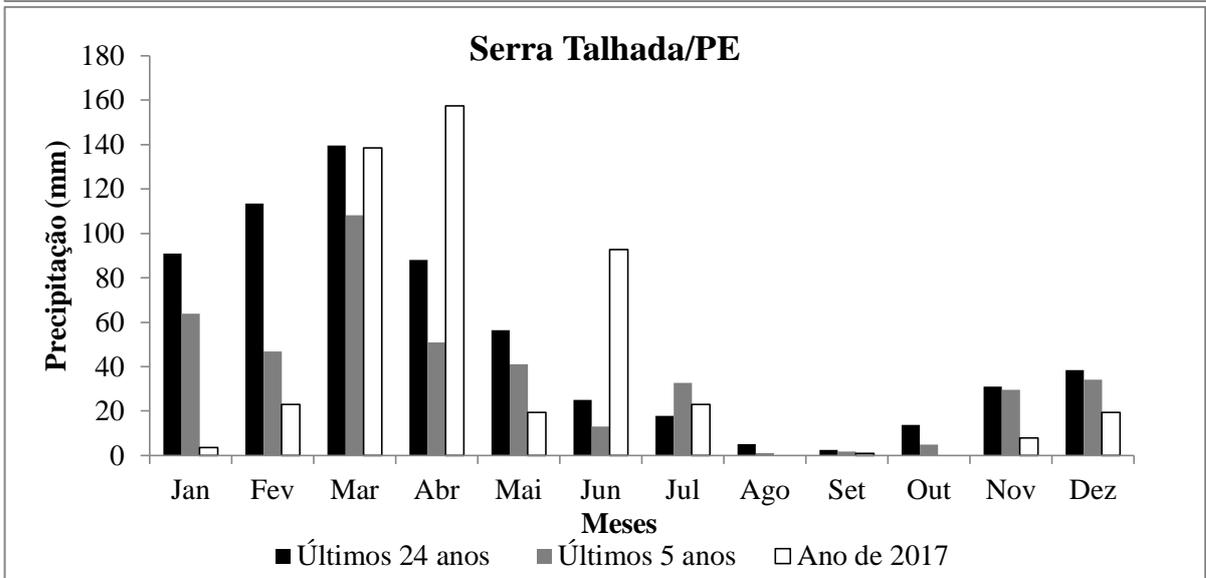
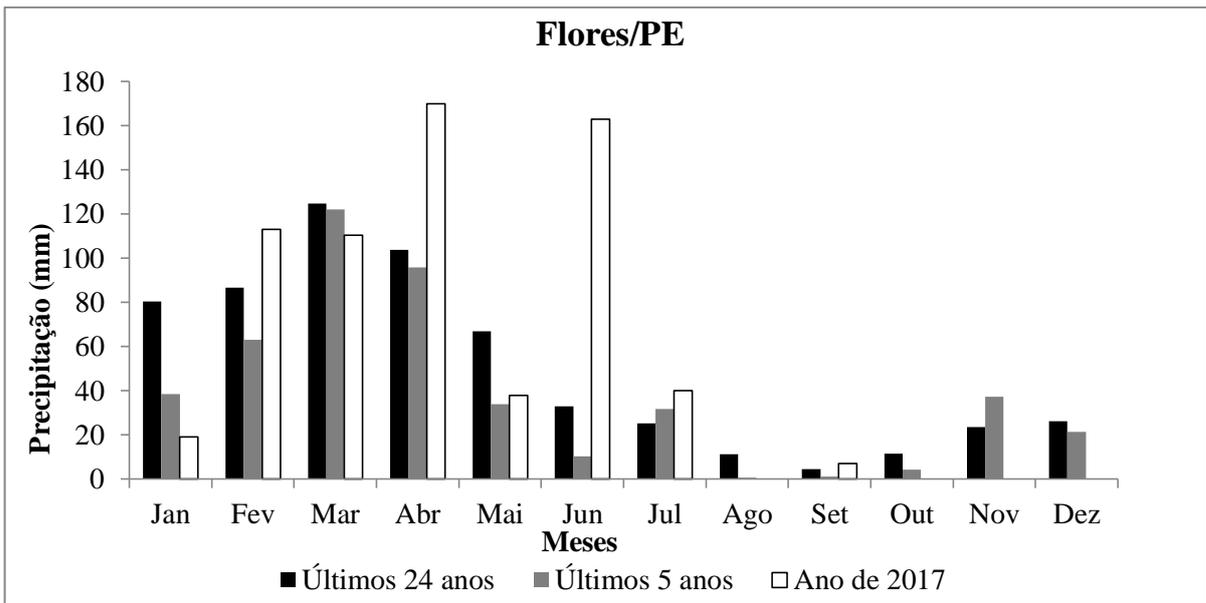
### 5.1 Distribuição das chuvas nas três localidades

As curvas de distribuição média das chuvas dos municípios de Flores, Serra Talhada e Calumbi, para os períodos de 24 anos (1994-2017), de 5 anos de seca (2012-2016) e do ano experimental (2017) são apresentadas logo abaixo (Figura 13). As estações localizadas em Flores, Serra Talhada e Calumbi (APAC, 2017) foram escolhidas por encontrarem-se mais próximos dos locais de estudo, representando os sítios Souto, Lajinha e Areal, respectivamente. Os registros de chuva nos três municípios são inferiores a 30 anos, e portanto não discretizam medidas que permitem realizar análises que identifiquem mudanças climáticas, contudo são Normais Climatológicas Provisórias (GALVANI, 2011) que caracterizam a distribuição das chuvas dessas localidades ao longo do tempo.

A partir da precipitação pluviométrica mensal dos três municípios calculada para o período entre 1994-2017 (normal climatológica provisória), observa-se que o mês de março foi o mês mais chuvoso do período em questão, com precipitação pluviométrica média mensal de 125, 140 e 116 mm, para Flores, Serra Talhada e Calumbi. Na mesma ordem para os três municípios, o mês de setembro é o menos chuvoso (mais seco) com chuvas de 4, 3 e 2 mm. O trimestre compreendendo os meses de fevereiro, março e abril, é o período onde os índices pluviométricos são superiores aos demais. Enquanto que o trimestre, compreendendo os meses de agosto, setembro e outubro, o menos chuvoso (Figura 13).

Para a distribuição da precipitação pluviométrica mensal, calculada para os últimos 5 anos de seca, entre 2012-2016 nos três municípios, constata-se que o mês mais chuvoso deste período também foi o de março, com chuvas 122, 108 e 108 mm, apresentando um desvio negativo de -3,2 mm em relação à normal, e o mais seco foi agosto, com precipitação pluviométrica de 1, 1 e 4 mm, contribuindo para um desvio negativo de -0,6 mm comparando com a normal. O período mais chuvoso foi de fevereiro a abril, em Flores e Calumbi, e de janeiro a março, em Serra Talhada, com precipitação pluviométrica superior aos 200 mm (Figura 13).

Do ponto de vista climático, Assis et al. (2013), cita que o Sertão de Pernambuco é caracterizada por grande anormalidade nas precipitações pluviométricas e expõe que o principal período chuvoso os meses de janeiro a abril, onde, através das frentes frias, vórtices ciclônicos de ar superior (VCAS) e da zona de convergência intertropical (ZCIT) são originados as chuvas que caem no Sertão.



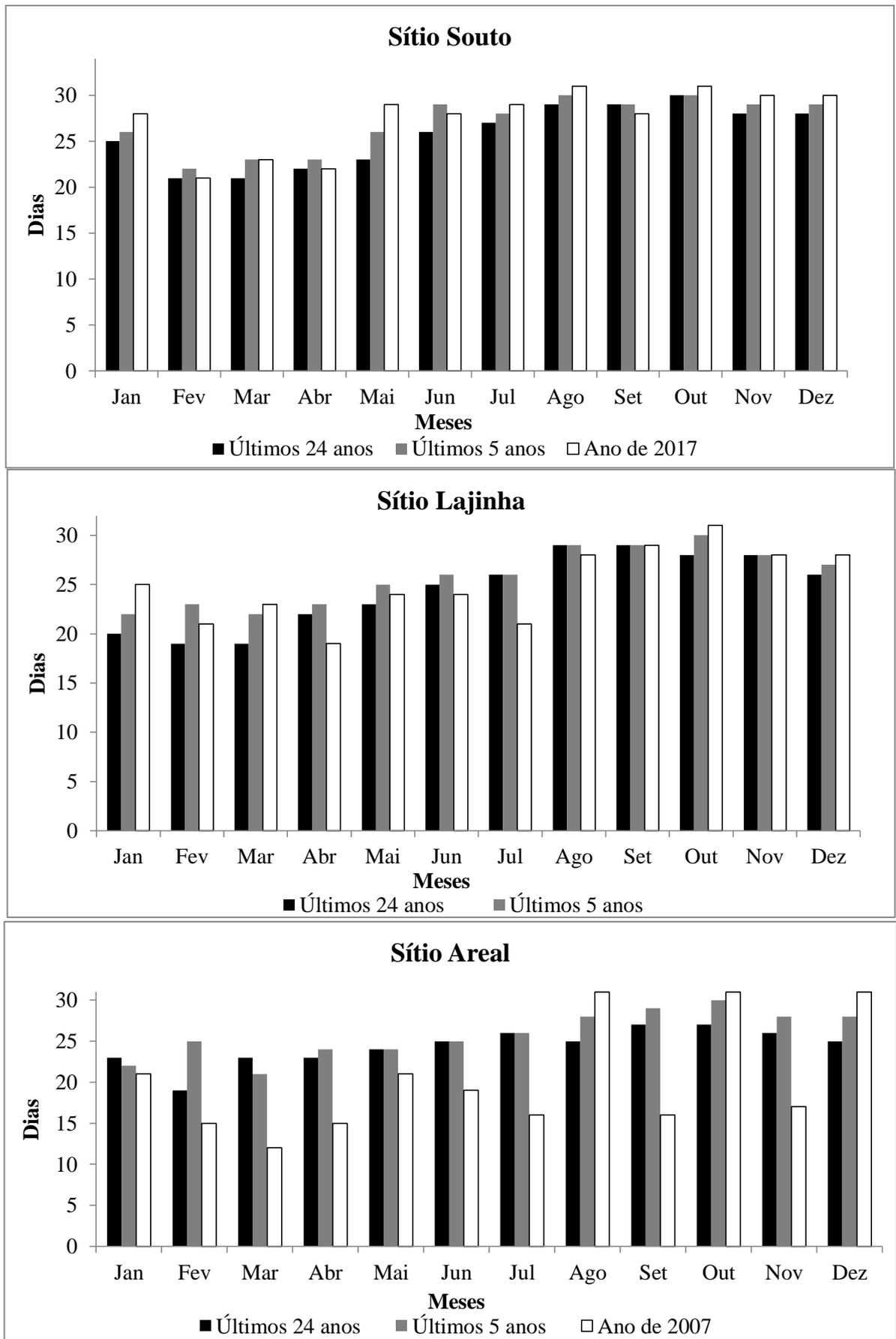
**Figura 13:** Regime pluviométrico das áreas estudadas

Ao analisar a distribuição das chuvas em 2017 (Figura 13), nota-se que o mês mais chuvoso foi abril com chuvas maiores do que 150 mm, nas três localidades, significando desvios positivos em relação a normal climatológica provisória e ao período de seca; enquanto que agosto e outubro foram os meses mais críticos sem registros de chuva. Os meses de medidas que intercalaram de março até setembro mostraram um período com alguns índices de chuva, mas, vale salientar que as chuvas no sertão são mal distribuídas, dessa forma, a precipitação pluviométrica pode ser diferente em tempo e espaço, ou seja, pode passar dias sem nenhuma chuva, isso no mesmo mês.

Nota-se que a distribuição da precipitação pluvial na região é bastante irregular no tempo e no espaço, dessa forma, as estações chuvosas ocorrem de forma diferenciada, em quantidade, duração e distribuição. Logo, entende-se que a precipitação pluviométrica no semiárido é irregular, no entanto, os últimos 5 anos a seca foi mais acentuada, agravando ainda mais as restrições hídricas.

Nos últimos 24 anos os sítios Souto, Lajinha e Areal alcançaram índices que variaram de 68 a 97%, 74 a 90% e 61 a 97% de dias sem chuvas, respectivamente, isso para os meses estudados. Para os últimos 5 anos, considerado como anos de seca, atingiu valores que vão de 74 a 97%, 68 a 97% e 71 a 97% de dias sem chuvas, nos respectivos locais. Já no ano 2017, para os sítios concomitantemente, os meses de março, maio, julho e setembro, atingiram 74, 94, 94 e 93%; 39, 68, 52 e 53%; e 74, 77, 68 e 97% de dias sem chuvas (Figura 14).

Os ciclos de fortes estiagens e secas costumam atingir a região do sertão em intervalos grandes durante o ano, as chuvas cessam e as altas temperaturas se sobressaem. Segundo Travassos et al., (2013) as secas podem ocorrer sob a forma de uma drástica diminuição, concentração espacial e/ou temporal da precipitação pluviométrica anual. Dessa forma, quando ocorre uma grande seca, diversos fatores são afetados como: a produção agrícola, pois a mesma fica comprometida; a pecuária que é debilitada ou dizimada e; as reservas de água da superfície se exaurem. Diante dessas condições, as atividades agrícola e pecuária tornam-se inteiramente vulneráveis.

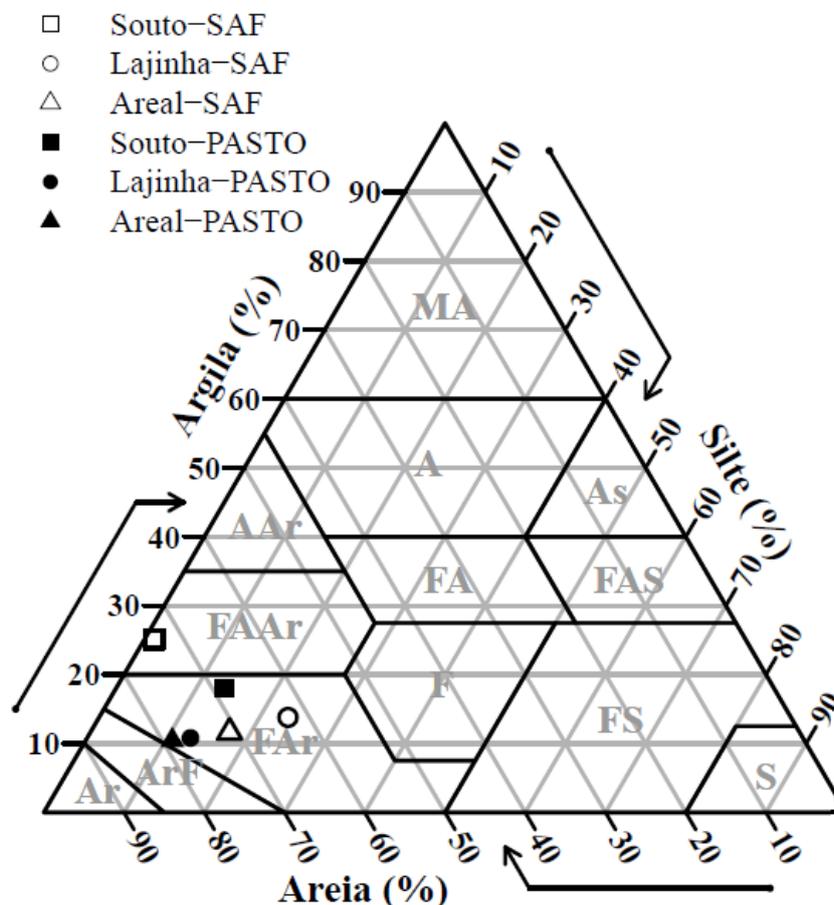


**Figura 14:** Dias sem chuvas nas áreas

## 5.2 Atributos Físico-Hídricos dos solos das áreas estudadas

### 5.2.1 Textura e Infiltração da água no solo

As proporções relativas do tamanho das partículas dos solos permitiu identificar as classes de texturais dos solos estudados delimitados no Triângulo Textural (Figura 15).



**Figura 15:** Triângulo Textural representando as classes texturais dos solos estudados. Ar - Areia; ArF - Areia Franca; FAr - Franco-Argilo-Arenoso; FA: franco-argiloso; FS: francosiltoso; FAS: franco-argilo-siltoso; AS: argilasiltosa; AAr: argila-arenosa; A: argila; MA: muito argiloso.

Quando analisados a percepção do tipo de solo quanto à textura, nos solos dos três sítios a maior fração foi de areia (Tabela 2), predominando a classe textural Franco-arenosa, e apenas uma diferenciação na área de SAF do Sítio Souto, que apresentou classe textural do tipo Franco-Argilo-Arenosa.

Apesar das áreas de SAF e PASTO serem bem próximas, percebe-se uma modificação na composição relativa das frações de areia, silte e argila, atribuída à erosão do solo, por influência da chuva. Segundo Costa et al. (2015) quando o solo é favorecido por algum tipo de cobertura vegetal, ele pode ser protegido da desagregação e consequente escoamento

superficial, e para auxiliar estes componentes, as propriedades do solo e o manejo dado a ele também são de grande importância.

A cobertura densa dos SAF's protegeu o solo do impacto de chuva, enquanto a reduzida cobertura da vegetação na área de pasto que encontra-se degradada pela exposição aos longos períodos de estiagens, não possui eficácia, quanto a prevenção de separações de partículas de solo devido a ação do impacto das gotas de chuva. Partículas de argila são facilmente transportáveis, quando comparadas à fração de areia, e, portanto é admissível uma redução na fração de argila na área de pastagem.

O uso e manejo de forma adequada contribuem para aumentar sua resistência do solo à erosão, pois impõem condições físicas à superfície do solo que irão interferir na ação dos agentes erosivos (VOLKET; COGO, 2009).

**Tabela 2.** Classe granulométrica e textural da áreas de SAF e Pasto

Áreas	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe Textural	Camada (cm)
<b>SAF</b>					
Souto	73,69	1,22	25,09	Franco-argilo-arenoso	0 - 20
Lajinha	62,67	23,54	13,79	Franco-Arenoso	0 - 20
Areal	71,03	17,34	11,63	Franco-Arenoso	0 - 20
<b>PASTO</b>					
Souto	68,56	13,45	17,99	Franco-Arenoso	0 - 20
Lajinha	76,31	12,88-	10,81	Franco-Arenoso	0 - 20
Areal	78,75	10,79	10,46	Franco-Arenoso	0 - 20

Os testes de infiltração foram agrupados de acordo com os tratamentos e as localidades. As comparações das lâminas de água medidas nas duas situações (SAF e PASTO) demonstram diferenças qualitativas dos efeitos estruturais no fluxo de água nas três localidades (Figura 16).

A duração das infiltrações nas superfícies do SAF do Sítio Souto, nos meses de março e maio, variou de 1500 a 4000 s para aproximadamente 80 mm de lâmina total de água infiltrada (Figura 16A) enquanto para a mesma lâmina de água infiltrada nas superfícies com

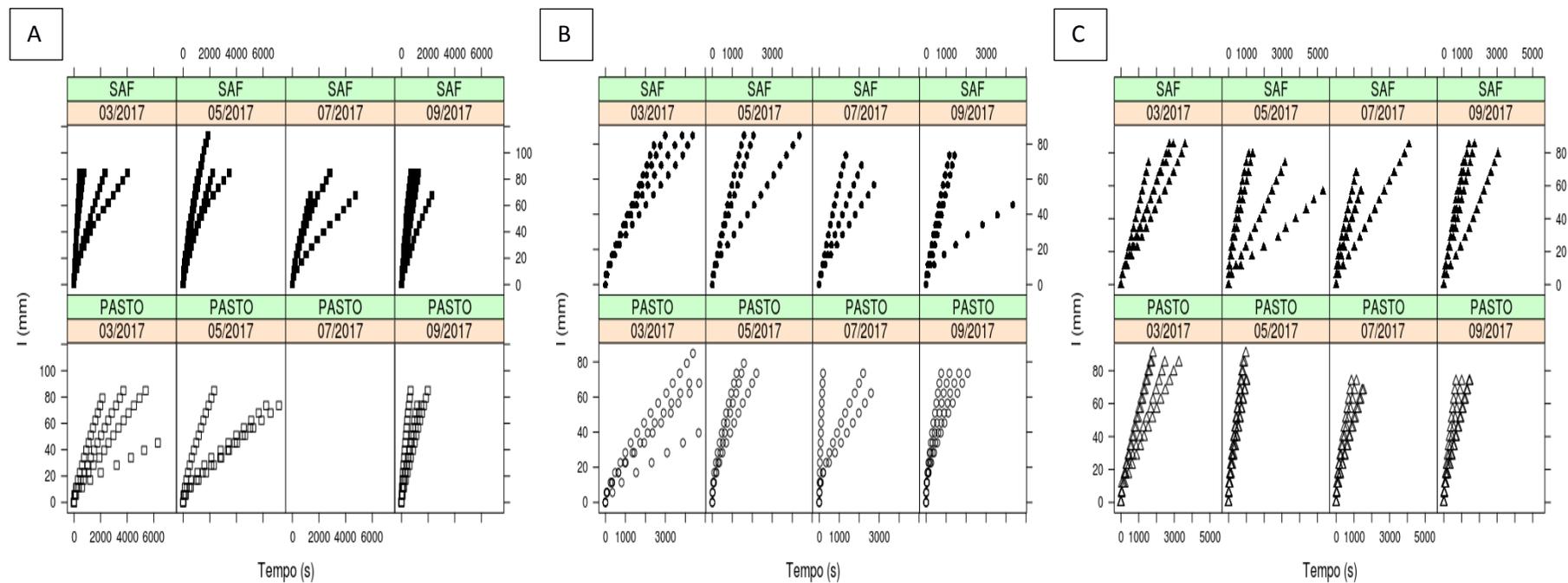
pastagem, a duração variou de 2000 a 6000 s, figura que a infiltração é lenta e se torna possível observar uma variabilidade mais significativa dos fluxos de infiltração. No mês de julho as medidas de infiltração mantiveram o mesmo padrão de variação, ou seja, para infiltrar 80 mm, apresentaram durações que variaram de 2000 a 4000 s. A duração média da infiltração no mês de setembro foi < 2000 s para 80 mm do total da lâmina acumulada no solo, e apesar de ambos os sistemas se encontrarem mais seco, as chuvas dos meses que antecederam essas medidas foram suficientes para fazer com que a estrutura dos solos fossem influenciadas pelas raízes das plantas.

No Sítio Lajinha, a duração das infiltrações nas superfícies do SAF, nos meses de março e maio, variou de 2500 a 4500 s para aproximadamente 80 mm de lâmina total de água infiltrada (Figura 16B) enquanto para a mesma lâmina de água infiltrada na pastagem, a duração variou de 4000 a 4200 s. Na área de pasto de Lajinha, a infiltração é mais lenta, mas é possível observar uma variabilidade menos significativa dos fluxos de infiltração; em julho o SAF variou de 1000 e 3000 s para uma média de 75 mm do total da lâmina acumulada, o pasto variou entre 500 e 3000 s para uma média de 75 mm de lâmina acumulada. Nesse momento o solo da pastagem encontrava-se arado, fazendo com que água infiltre mais rápido; o SAF no mês de setembro por já se encontrar em estágio mais seco, variou de 1000 a 4000 s para aproximadamente 60 mm de lâmina total de água infiltrada, enquanto que no pasto variou de 1000 a 3000 s para um total de 80 mm infiltrado.

No sítio Areal (Figura 16C), os meses de março, maio e julho a duração do tempo de infiltração variou de 1000 a 5000 s para uma lâmina acumulada em média de 75 mm, figurando o mesmo padrão de variabilidade entre esses meses. O mês de março na pastagem demonstrou comportamento semelhante ao SAF, porém em maio a área foi arada e a partir desse momento as medidas de infiltração passou a ser mais rápido que no SAF, diminuindo o tempo de infiltração que variou de 500 a 1000 s para um total de lâmina acumulada de 80 mm; em setembro, o SAF variou de 1000 a 3000 s, enquanto o pasto variou de 500 a 1000 s, para uma lâmina de 80 mm. Nos sítios Lajinha e Areal, a aração promoveu a ativação hidráulica dos macroporos nos solos da pastagem, aumentando momentaneamente a capacidade de infiltração desses solos. Mostrando que o aumento da taxa básica de infiltração ocorre em função do aumento da quantidade de macroporos relacionada às partículas de maior tamanho do solo.

Observa-se que os sistemas sofreram efeitos da variabilidade espacial, com isso, entende-se que os solos manejados de diferentes formas são alterados em profundidade, apresentando heterogeneidade e sua variabilidade espacial, horizontal e vertical, que

dependem não só dos fatores de formação, como também estão relacionados ao tipo de manejo (SOUZA et al., 2001). No entanto, a presença de árvores aumenta o aporte de matéria orgânica dos solos, dessa forma, conserva a umidade, aumenta infiltração de água e a capacidade de absorção, diminuindo os riscos de erosões e estimulando a atividade biológica (BARBERA-CASTILLO,2001).



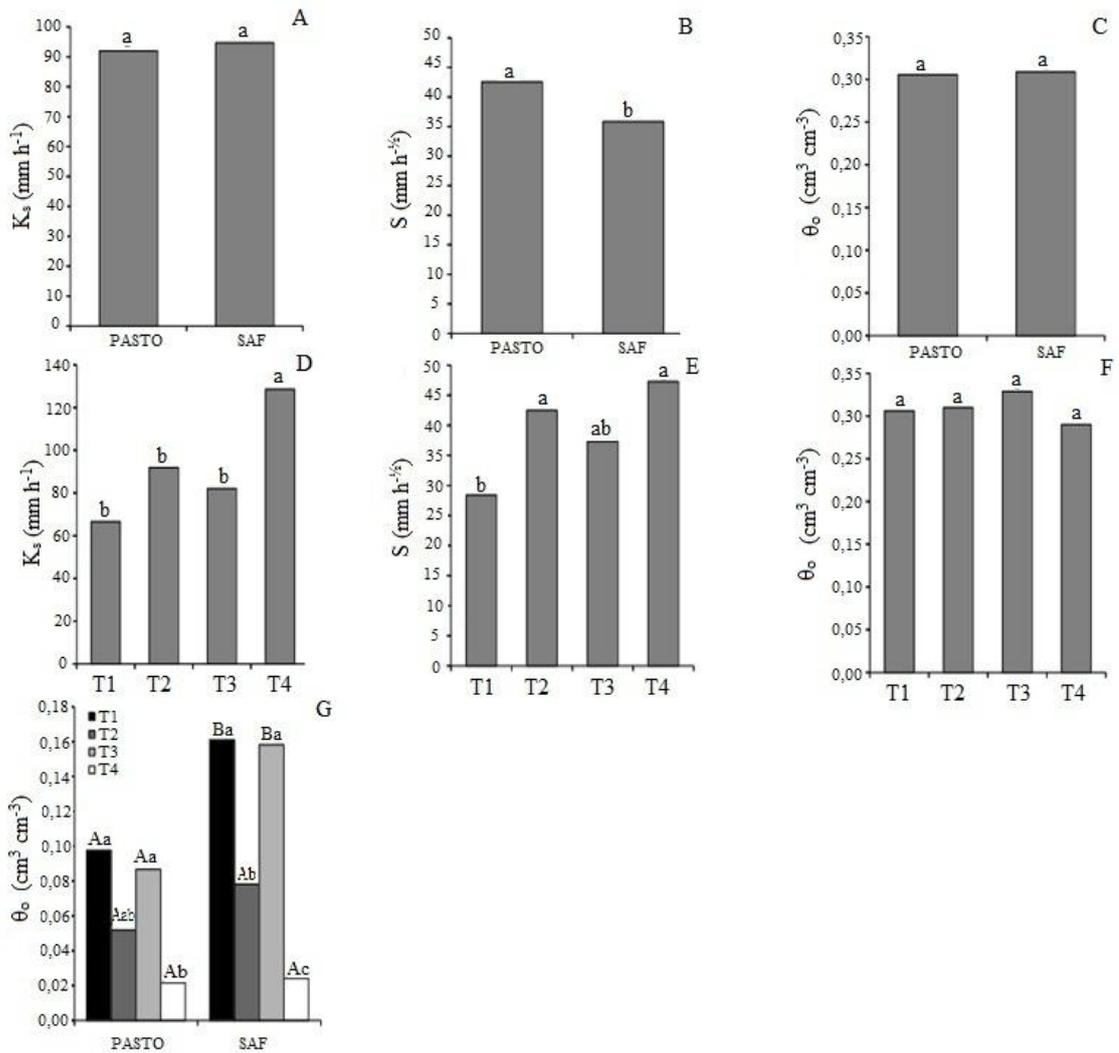
**Figura 16:** Curvas de infiltrações acumuladas nas áreas de SAF e PASTO dos Sítios Souto (A), Lajinha (B) e Areal (C)

### 5.2.2 Propriedades Hidrodinâmicas do Solo

Os intervalos de tempo de aplicação da equação de infiltração proposta por Haverkamp et al., (1994) foram estabelecidos de tal forma que os intervalos de tempo de ajustamento das equações fossem o maior possível. Os parâmetros hidrodinâmicos foram então obtidos pelo ajuste da equação (1) aos dados de infiltração, apresentando coeficientes de determinação superiores a 0,999. O intervalo de tempo de validade foi definido a partir das diferentes escalas de tempos característicos representativas do processo de infiltração (SOUZA et al., 2006).

A condutividade hidráulica saturada [ $K_s$  ( $\text{mm s}^{-1}$ )] e a sorvidade [ $S$  ( $\text{mm s}^{-1/2}$ )] são propriedades bastante utilizadas para avaliar alterações nos sistemas de uso e manejo do solo, como também, o tipo de cobertura do solo (SOUZA et al., 2007, SOUZA et al., 2008, SOUZA et al., 2014) e como as determinações de  $K_s$  e  $S$  pela equação (1) necessitam das umidades iniciais e finais ( $\theta_o$  e  $\theta_s$ ), essas informações também são utilizadas para avaliar as alterações nos sistemas de uso do solo. De acordo com o teste de Shapiro-Wilk a 5% de significância, os resíduos das variáveis  $K_s$  ( $p = 0,566$ ),  $S$  ( $p = 0,566$ ),  $\theta_o$  ( $p = 0,051$ ) e  $\theta_s$  ( $p = 0,248$ ), todos podem ser considerados normais.

A análise fatorial não mostrou por meio dos efeitos entre os fatores "Uso do solo x tempo", uma interação significativa para a condutividade hidráulica ( $K_s$ ), a sorvidade ( $S$ ) e a umidade na saturação ( $\theta_s$ ). Nesse caso em que os fatores são independentes realizou-se a análise em separado para ambos os fatores (Figura 17). Verifica-se que o fator de variação "Uso do solo (SAF / PASTO)" não influenciou significativamente nos valores de  $K_s$  e  $\theta_s$  (Figura 17A e 17C). O SAF interferiu de forma significativa na sorvidade ( $S$ ) (Figura 17B) e na umidade inicial ( $\theta_o$ ) (Figura 17D), sendo que para  $\theta_o$  houve interação significativa entre "Uso do solo versus o tempo". Neste caso, foi preciso analisar o comportamento do fator uso do solo em cada intervalo de tempo (Figura 17D) e, reciprocamente, o comportamento do tempo nas duas condições de uso do solo (Figura 17G).



**Figura 17:** Valores médios de  $K_s$  ( $\text{mm h}^{-1}$ ),  $S$  ( $\text{mm h}^{-1/2}$ ),  $\theta_s$  ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) e  $\theta_o$  ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) obtidas para os três Sítios (Souto, Lajinha e Areal) nas áreas de SAF e PASTO, durante os meses de março, maio, julho e setembro de 2017 (T1, T2, T3 e T4, respectivamente). As letras minúsculas comparam as duas condições de uso do solo. As letras maiúsculas comparam a mesma variável nos quatro meses. Letras iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Quando analisado a  $K_s$  (Figura 18A), os SAF's no mês de março dos três sítios foram maiores que nos pastos, apresentando médias 215, 51 e 104  $\text{mmh}^{-1}$  para o SAF e 47, 28 e 95  $\text{mmh}^{-1}$  para o pasto. Esse aumento deve-se ao fato de existir uma maior diversidade de plantas com sistema radicular diferente e uma maior atividade biológica. A partir do momento em que os pastos do Lajinha e Areal foram arados no mês de maio, tiveram médias maiores (98 e 161  $\text{mmh}^{-1}$ ), enquanto nos SAF's foram iguais a 79 e 78  $\text{mmh}^{-1}$ , nos respectivos sítios. No Souto, no mês de maio, a média no SAF (95  $\text{mmh}^{-1}$ ) permaneceu maior que no pasto (36  $\text{mmh}^{-1}$ ).

Associamos diante disso que a água é um dos influenciadores do desenvolvimento e da produtividade das culturas e pendente das propriedades que envolvem a água e o solo, a  $K_s$  pode interferir na capacidade do solo de conduzir água. No entanto, os SAF's por ter uma

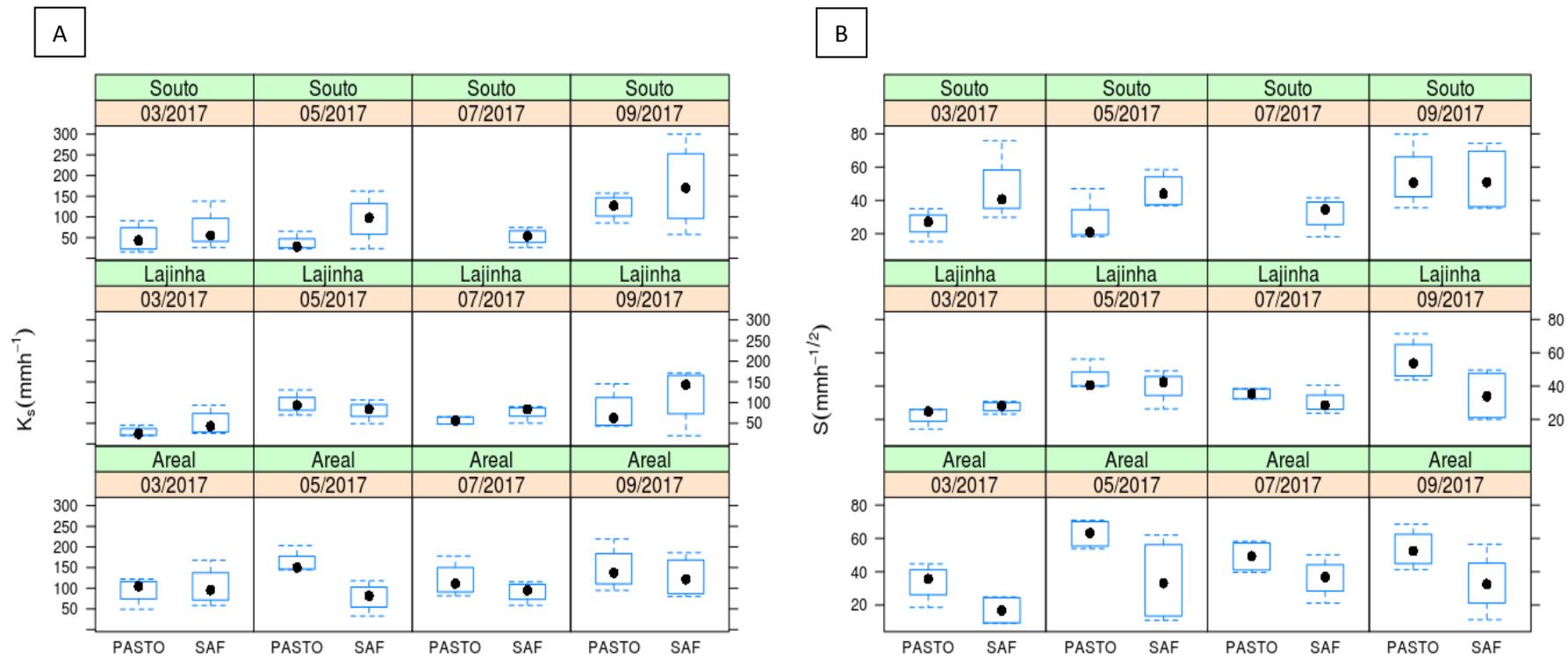
maior diversidade de plantas com sistema radicular mais profundo, auxiliam a condutividade hidráulica do solo, pois a água será conduzida com maior facilidade.

Nos meses de maio e julho a  $K_s$  foi maior nos pastos dos Sítios Lajinha e Areal quando comparados com cada SAF's, por encontrarem-se arados.

No mês de setembro, os sítios Souto, Lajinha e Areal, os valores de  $K_s$  foram iguais a 174, 119 e 127  $\text{mmh}^{-1}$  para os SAF's enquanto no pasto foram 124, 78 e 147  $\text{mmh}^{-1}$ , respectivamente. Observa-se que no Souto, o SAF mesmo no o período mais seco, foi relativamente melhor que o pasto, da mesma forma que no primeiro mês, reflexo de que a diversidade de plantas que resistem no local auxilia a  $K_s$  mesmo estando mais seco. Contudo, nos sítios Lajinha e Areal quando as atividades de manejo no solo do pasto foram cessadas, o SAF restabeleceu uma melhor  $K_s$ , por existir maior atividade biológica e sistema radicular variado. De acordo com Dexter et al. (2004), os maiores valores de condutividade hidráulica são encontrados em conjunto com os maiores valores de porosidade.

Ainda na Figura 18B, os comportamentos obtidos em cada um dos meses para a sorvidade com relação às médias foi de: Souto para o SAF foi de 48, 45, e 52  $\text{mmh}^{-1/2}$  e para o pasto foi de 26, 26 e 54  $\text{mmh}^{-1/2}$ ; no SAF de Lajinha foram 27, 39, 30 e 34  $\text{mmh}^{-1/2}$  e o pasto foi de 22, 45 35 e 55  $\text{mmh}^{-1/2}$ ; já no Areal o SAF apresentou valores de 16, 34, 36 e 33  $\text{mmh}^{-1/2}$  que foram menores que o pasto 33, 62, 49 e 53  $\text{mmh}^{-1/2}$ . Podendo admitir, que altos valores encontrados estão relacionados com a presença de poros maiores que podem ter sido formados por caminhos de formigas e raízes, que pode ser constatado no local.

Medições de infiltração e condutividade hidráulica são muito importantes, uma vez que o manejo do solo pode modificar o comportamento natural de seus atributos físicos. Carvalho et al. (2003) afirma que a infiltração e a condutividade hidráulica saturada do solo, bem como outras propriedades, provocam modificações nas propriedades físicas do solo em função do manejo com distribuição de frequência do tipo normal para os dados. E em solos com maior quantidade de matéria orgânica é um constituinte cimentante que mantém os solos agregados, preservando a porosidade e a capacidade de infiltração (CALOURO, 2005).



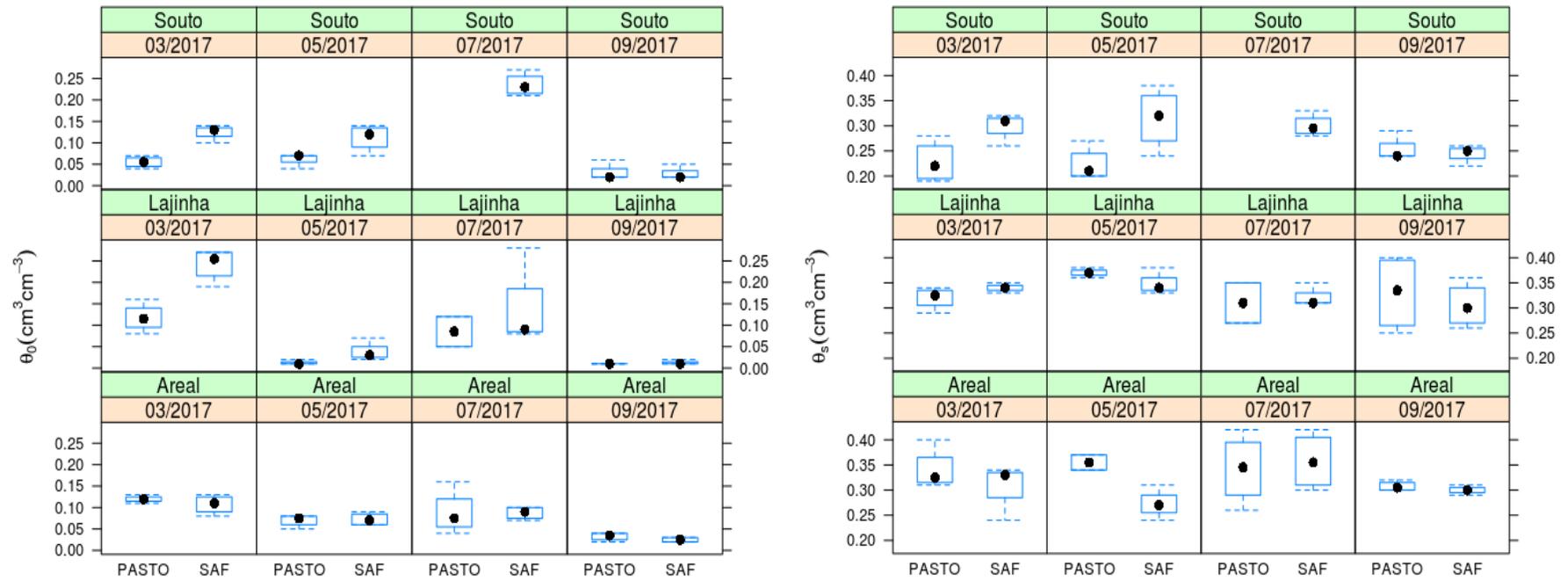
**Figura 18:** Efeito dos SAF's e das pastagens nos valores de condutividade hidráulica saturada e sorvidade nos meses de março, maio, julho e setembro de 2017.

A umidade volumétrica do solo inicial e final (Figura 19) segue uma distribuição com base na precipitação ocorrida nos locais, nos SAF de todos os três sítios as  $\theta_o$  sempre foram maiores, quando comparados com os pastos. No entanto o solo do sistema pasto dos sítios Lajinha e Areal mesmo tendo sido arado, não houve diferença, a partir do momento em que os solos começaram a ficar mais secos decorrentes do período sem chuvas.

No entanto, quando analisamos a  $\theta_o$ , os dados com relação aos sistemas x tempo para cada sítio, nota-se em todos os meses de medições uma diferença maior nos SAF's, pois, por se tratar de áreas com diversidade de plantações, o solo consegue manter uma relativa umidade nas suas camadas, diminuindo o fluxo de infiltração.

Quando analisados a  $\theta_s$ , os solos com o sistema SAF dos sítios Souto, Lajinha e Areal obtiveram médias que se diferenciaram do pasto, principalmente no sítio Souto, no entanto, no mês (maio) que o solo do pasto dos sítios Lajinha e Areal foram arados, apresentou uma umidade final superior ao SAF.

Para Ávila et al. (2011), a umidade do solo exerce um papel enorme nos processos hidrológicos de superfície e transporte de sedimentos, pois possui uma importante participação na separação da precipitação em infiltração e escoamento superficial. Os mesmos acrescenta que a umidade do solo possui várias oscilações no espaço e no tempo, em virtude da influência de diferentes fatores estáticos e dinâmicos do solo, além da influência que ocorre devido às mudanças sazonais no regime de chuvas.



**Figura 19:** Características físicas do solo relacionadas à unidade inicial e final na base volumétrica das áreas estudadas

### 5.2.3 Propriedades Físicas do solo { $\rho$ ( $\text{g cm}^{-3}$ ), RP (MPa) e U ( $\text{g g}^{-1}$ )}

A densidade do solo  $\rho$  ( $\text{g cm}^{-3}$ ) não apresentou diferença nos solos de SAF em comparação com aqueles encontrados nas áreas de pastagens independentemente da localidade (Figura 20). Normalmente as pesquisas encontraram  $\rho$  menor em área sob mata nativa quando comparada com áreas cultivadas (MATIAS et al., 2009; FONTENELLE et al., 2009; LIMA et al., 2014). Esses autores alegaram que isso ocorre devido à maior quantidade de matéria orgânica nessas áreas, além do efeito do uso contínuo de máquinas e implementos agrícolas no sistema cultivado, embora ocorra em solos cultivados, uma estabilidade menor da estrutura do solo (GÓES et al., 2005), em virtude do revolvimento do solo e dos menores teores de carbono orgânico aportados pelo sistema.

Em outro tipo de ambiente como o úmido da Amazônia, as médias de  $\rho$  na superfície (0-20 cm) de um SAF foram semelhantes aos de áreas com cultivo de cacauzeiro como manejo agroecológico e pastagem, diferindo apenas da referência (floresta nativa, que foi em média, 12% menor que os demais valores encontrados (MASCARENHAS et al., 2017).

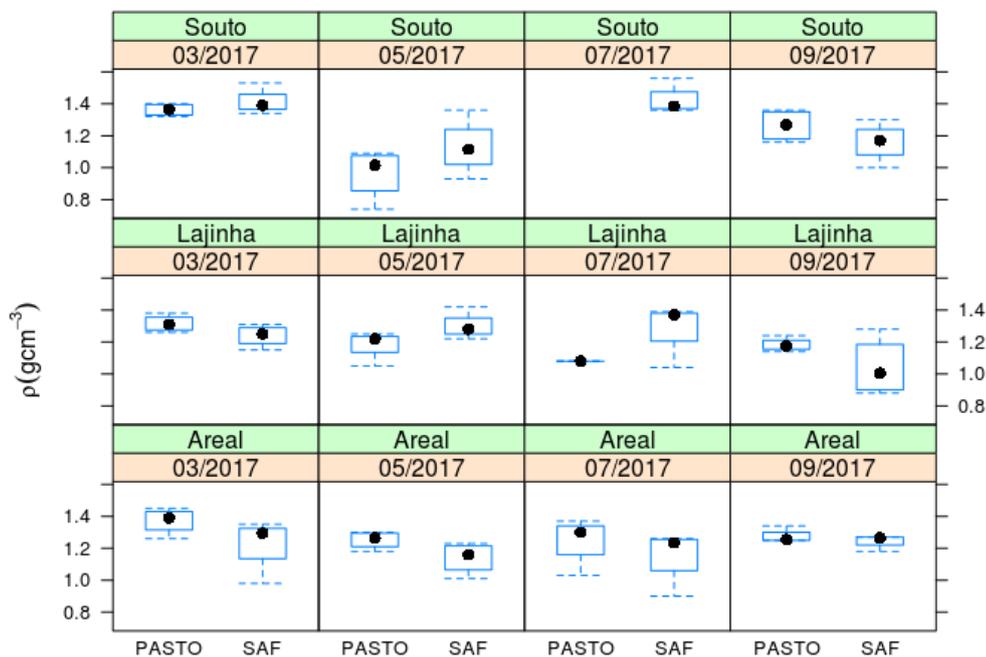
No Sítio Souto as médias de  $\rho$  1,38  $\text{g cm}^{-3}$  no SAF e 1,36  $\text{g cm}^{-3}$  no PASTO no período chuvoso que ocorreu no mês de março. Nota-se que nos outros Sítios Lajinha e Areal as médias entre os tratamentos SAF x PASTO não foram muito diferentes no período chuvoso, 1,24  $\text{g cm}^{-3}$  no SAF e 1,31  $\text{g cm}^{-3}$  no PASTO, 1,23  $\text{g cm}^{-3}$  no SAF e 1,37  $\text{g cm}^{-3}$  no PASTO, respectivamente.

Em maio as médias de  $\rho$  foram iguais a 1,13, 1,30 e 1,14  $\text{g cm}^{-3}$  para os SAF's e 0,97, 1,17 e 1,25  $\text{g cm}^{-3}$  nos pastos, para os respectivos sítios Souto, Lajinha e Areal. Vale destacar que nesse mês as áreas de pasto de Lajinha e Areal foram aradas, incidindo em uma diminuição nas suas densidade. Mesmo assim não houve diferença significativa entre os tratamentos.

No período mais seco que ocorreu em setembro, os três sítios apresentaram médias mais baixas de  $\rho$  nos sistemas agroflorestais quando confrontados com os pastos, obtendo valores de 1,16, 1,04 e 1,24  $\text{g cm}^{-3}$ , ao mesmo tempo que no pasto foi de 1,26, 1,18, 1,27  $\text{g cm}^{-3}$ , concomitantemente.

Fazendo um comparativo entre os dois tratamentos, podemos notar que os SAF's em sua maioria, se sobressaíram com médias menores que os pastos, dessa forma, evidenciamos que os baixos valores encontrados de  $\rho$  refletem bem, devido os altos teores de matéria orgânica existente nas áreas de SAF's.

Os altos valores da densidade do solo podem ocasionar: falta de oxigênio para a respiração das raízes, devido à baixa porosidade e má drenagem, bem como, impedimento mecânico para o crescimento das raízes, limitando-se à zona de absorção de água e nutrientes (SOUZA et al. 1997).



**Figura 20:** Densidade do Solo dos sítios estudados

Matsinhe (2016) alega que o comportamento da água no solo vai depender muito de suas propriedades físicas, pois, quanto maior for a densidade existente no solo, menor será a capacidade da água de ser armazenada no solo, visto que a dimensão dos macro e microporos será reduzido em criptoporos, diminuindo assim a capacidade de armazenamento. O mesmo alega que, a densidade do solo não é uma constante, porque ela muda de acordo com a condição estrutural do solo.

Segundo Carneiro et al. (2009), os diferentes tipos de manejos e de usos do solo, em Neossolo promovem alterações na densidade do solo. Dessa forma, a densidade do solo poder auxiliar na busca por funções hidráulicas do solo, como a retenção de água, escoamento superficial ou condutividade hidráulica (RAWLS et al., 1982; WÖSTEN et al., 1999).

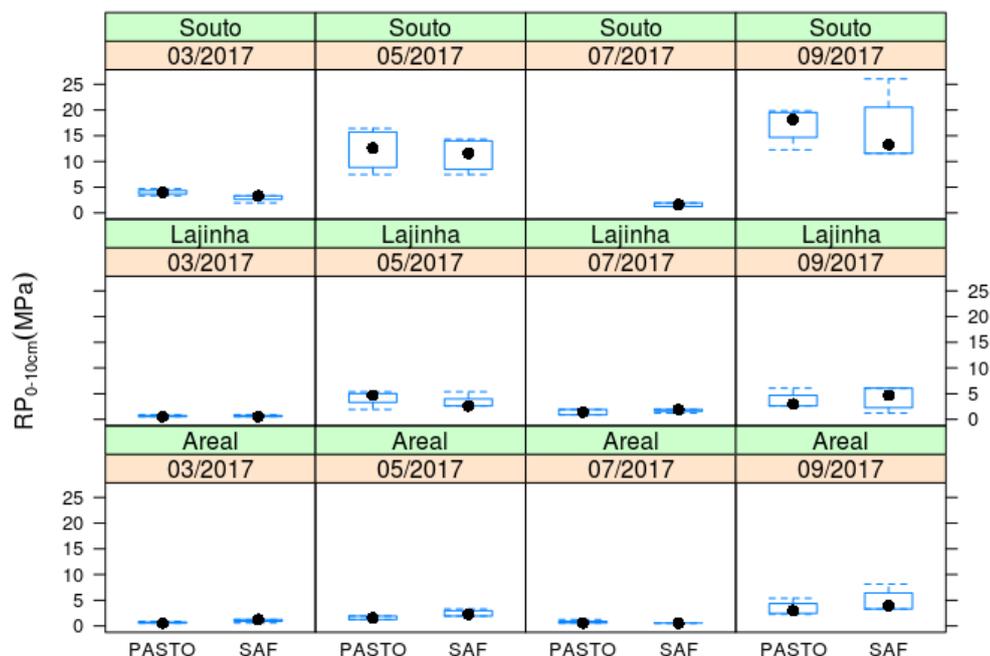
O uso intensivo de máquinas, implementos agrícolas e pisoteio animal são consideradas algumas das principais causas das compactações do solo e da resistência mecânica do solo à penetração das raízes, dessa forma, pode resultar em uma diminuição do crescimento da parte aérea e da produtividade das culturas (SANTOS et al., 2011), bem como, dificultar a entrada de água no solo, devido a falta de poros vazios.

Reichert et al. (2007) afirmam que a densidade do solo possui relação estreita com outros atributos, onde na grande maioria de suas pesquisas, mostraram que com o seu aumento, ocorre diminuição da porosidade total, macroporosidade, condutividade hidráulica, bem como, o conseqüente aumento da microporosidade e da resistência à penetração do solo, que pode o desenvolvimento radicular das plantas.

Os três sítios estudados apresentaram médias no mês de março, considerando o mês mais úmido, para a RP na camada superficial do solo (0 - 10 cm) de 2,46, 0,65 e 1,07 Mpa, para os SAF's, e 4,01, 0,65 e 0,64 Mpa, para o pasto; no mês mais seco (setembro) a RP apresentou médias mais alta tanto nos SAF's como nos pastos, de 16,06, 4,18 e 4,87 MPa e 17,10, 3,66 e 3,40, na devida ordem (Figura 21). É importante destacar que no sítio Souto, influenciado pelo maior teor de argila, os valores de RP sempre foram superior a 2 Mpa, considerado como crítico (PRAGANA et al., 2012) por comprometer o crescimento e o desenvolvimento do sistema radicular. Nas demais localidades as RP só atingiram valores críticos no período seco. No entanto quando comparados o SAF e pasto, não ocorreu diferença significativa entre eles. Freitas et al. (2012), estudando a RP de um Neossolo Quartzarênico sob pastagem verificaram, durante um período seco e um chuvoso, valores de RP de 3,40 e 1,69 MPa, respectivamente, diante disso nota-se que a resistência pode diminuir quando o solo encontra-se úmido.

De março a setembro, os valores de RP nos SAF's aumentaram 7, 6 e 5 vezes para os solos do Souto, Lajinha e Areal, respectivamente. Enquanto que nos pastos, os valores de RP foram de 4, 6 e 5 vezes maior, na mesma ordem.

Souza et al. (2010) verificaram diferenças nos valores de RP, evidenciando dessa forma que tal parâmetro pode ser variável de acordo com o manejo, o tipo de solo e a época de amostragem.



**Figura 21:** Variação da resistência do solo à penetração (RP) na superfície do solo (0 - 10 cm)

Em setembro, com a diminuição da umidade dos solos (Figura 22), os valores de RP aumentaram nos três sítios. Assis et al. (2009) afirmam que a RP depende do teor de água no solo, de tal modo, conforme o teor de água aumenta, diminui-se a RP e vice-versa.

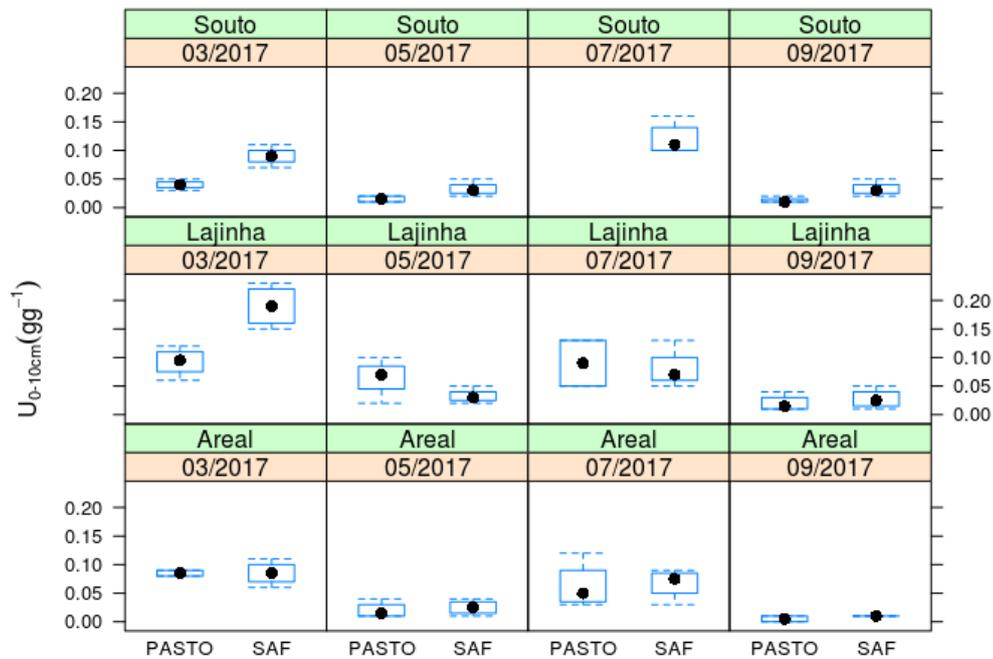
No sítio Souto, em todos os momentos os valores de médios de umidade do solo nas áreas de SAF superaram as do pasto, confirmando que a presença de uma maior cobertura vegetal que reduz a incidência de radiação solar direta na superfície do solo, aumentando consequentemente a umidade do solo. Esse comportamento é mais evidente nas primeiras coletas de solo (03/2017) dos sítios Souto e Lajinha. No sítio Areal, os valores médios de U ( $g\ g^{-1}$ ) nas superfícies dos solos dos SAF e pasto foram iguais, com uma maior variabilidade para os valores de U ( $g\ g^{-1}$ ) no SAF. Segundo Corado Neto et al. (2015) esse aspecto pode ser explicado pelo fato das análises terem sido executadas no início do período chuvoso; e a alteração causada pela umidade possivelmente ocorreu na camada mais superficial.

No sítio Souto, além da influência da cobertura vegetal do SAF, os valores de U ( $g\ g^{-1}$ ) foram sempre maiores que o pasto devido a maior capacidade de retenção desse solo, proporcionado pelo maior percentual de argila no solo (Tabela 2).

Dessa forma, quanto maior a diversidade de plantas no local, melhor será o armazenamento de água, principalmente na parte superficial onde foi considerada a umidade (0 - 10 cm).

Esse comportamento é esperado nas agroflorestas devido à variedade de espécies cultivadas e com portes diferentes, entretanto o acúmulo de matéria orgânica morta nos locais observados também auxilia na durabilidade dos teores de umidade no solo. Vale enfatizar que, em alguns momentos as médias apresentaram baixos índices de umidade mesmo tendo ocorrido chuva no mês, no entanto, alguns ensaios foram realizados no final do mês e o ambiente já encontrava-se mais seco.

A umidade do solo reduz a sua resistência à penetração, mas ao mesmo tempo pode aumentar a suscetibilidade à compactação, pela redução na capacidade de suporte de carga (SILVA et al., 2002).



**Figura 22:** Determinação da umidade do solo em ( $g\ g^{-1}$ )

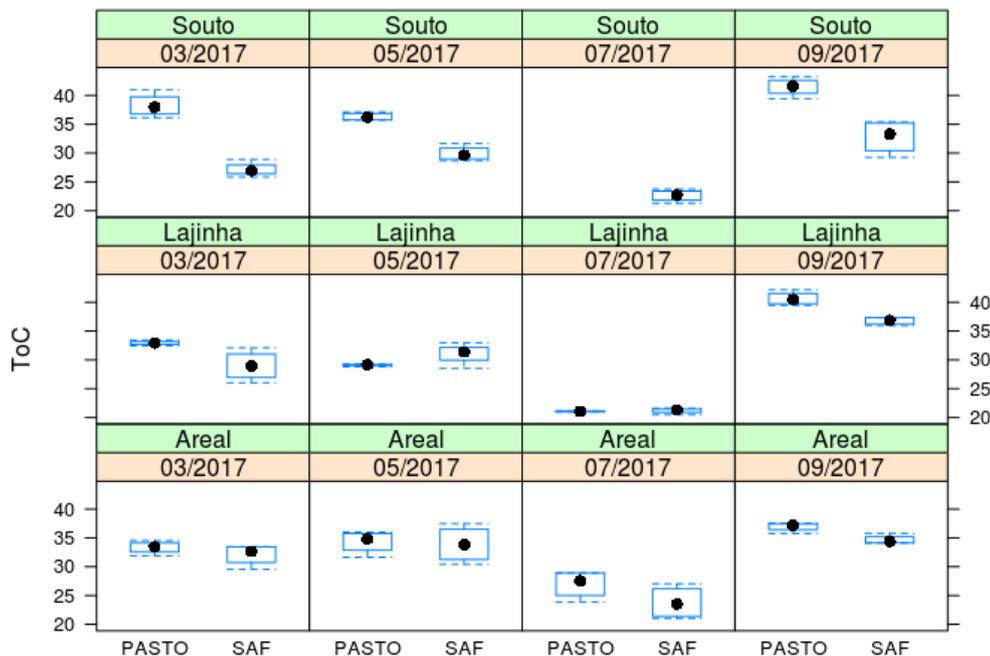
Santos et al. (2017), alegam que às copas das árvores servem como proteção e diminuem a incidência dos raios solares diretamente no solo, além disso, a presença de uma camada como serapilheira que favorece a presença constante de minhocas responsáveis pela estruturação de galerias no solo, bem como os galhos e folhas secas, contribui para um maior retenção de água no solo.

#### 5.2.4 Temperatura ( $^{\circ}C$ ) e Efluxo $CO_2$ ( $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$ ) do solo

Os SAF's dos Sítios Souto, Lajinha e Areal atingiram temperaturas médias baixas de 28, 28 e 32  $^{\circ}C$ , respectivamente. Como os ensaios para coleta da temperatura do solo ocorreram no período da tarde, nota-se que houve diferença entre os SAF e o pasto (Figura

23), sobretudo no primeiro mês (março) do experimento. Os pastos por sua vez exibiram valores médios maiores na ordem de 38, 32 e 33 °C, para os respectivos sítios, comprovando que os pastos com pouca diversidade de plantas sofrem um maior impacto das incidências solares.

No período seco (mês de setembro) os maiores valores também foram obtidos nos pastos, onde foram observados valores médios de 41, 40 e 36 °C, para o Souto, Lajinha e Areal, respectivamente. Os SAF's por já se encontrarem no período mais seco, tiveram suas temperaturas mais altas que as primeiras medidas, mas quando comparamos com os pastos, houve uma diferença significativa, os valores médios encontrados foram de 32, 36 e 34 °C para o Souto, Lajinha e Areal, nessa mesma ordem. Mostrando que as vegetações existentes nos SAF's se sobressaem, contribuindo para um ambiente mais ameno.



**Figura 23:** Avaliação da temperatura do solo

Com relação ao efluxo de CO<sub>2</sub>, no período chuvoso (mês de março), em todos os sítios Souto, Lajinha e Areal os SAF apresentaram médias melhores de CO<sub>2</sub> no solo com valores que variaram de 4,21, 4,69 e 7,42 μmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>, com relação ao pasto que apresentou 3,80, 4,20 e 5,46 μmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 24).

Sotta et al. (2004) encontraram em seu estudo um valor médio da respiração do solo de 3,2 μmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>, em uma área de floresta próxima de Manaus - AM, no período de maio a julho de 1997. Já para Conant et al. (2004) as taxas de respiração do solo foram

significativamente maior nos solos mais húmidos do que nos dois solos mais secos, mostrando a relação da umidade com a respiração do solo.

Efetivamente os SAF's de Lajinha e Areal, que são os de maior diversidade de espécies, apresentaram médias maiores, reafirmando que sistemas com copas maiores e com maior biomassa e diversidade, além de diminuir a temperatura e aumentar a umidade do solo, ainda aumentam a respiração do solo. Para Vincent et al. (2006) vários fatores bióticos e abióticos controlam o efluxo de CO<sub>2</sub> do solo, entre eles pode-se considerar a disponibilidade de água e a temperatura do solo que são vistos como os principais controladores.

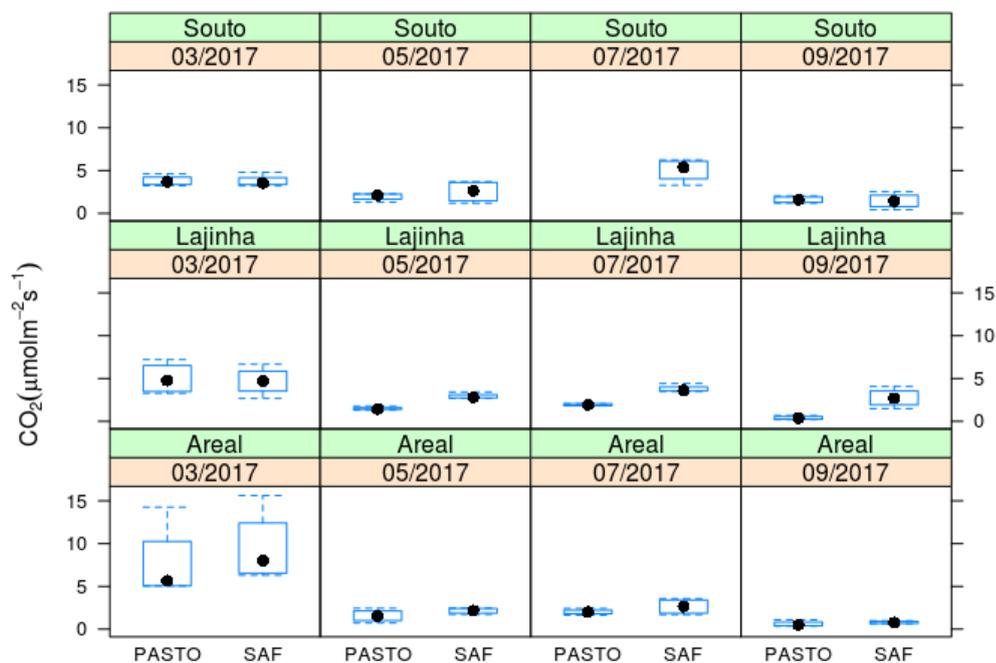
Entretanto, Brito et al. (2010) e Schwendenmann et al. (2003) reforça que essa situação pode ser dado ao fato das chuvas que antecedem às leituras, resultando na ocupação do solo por umidade, dessa forma, ocorre pelos espaços porosos do solo a eliminação dos gases do solo devido às chuvas.

Para Muñoz-Rojas et al. (2016) uma variabilidade de efluxo de CO<sub>2</sub> do solo e de umidade do solo foram encontrada na estação úmida em comparação com a estação, no entanto, sob a cobertura vegetal, as interações da temperatura do solo com a umidade do solo foram os mais adequados para explicar a resposta de efluxo de CO<sub>2</sub> do solo, o que sugere que o papel da temperatura na decomposição do substrato é fundamental para explicar os fluxos de CO<sub>2</sub> do solo. Essas terminações são amplamente semelhantes aos relatados em outros estudos de ecossistemas áridos e semiáridos (MAESTRE; CORTINA, 2003; OYONARTE et al., 2012; REY et al., 2011).

Em setembro o efluxo de CO<sub>2</sub> no solo reduziu consideravelmente, atingindo valores 1,50; 2,73 e 0,79  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  para os SAF's e para o pasto foi de 1,60; 0,41 e 0,45  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , nos sítios Souto, Lajinha e Areal, respectivamente.

Mesmo com essa diminuição os SAF's demonstraram médias maiores nos sítios, com exceção do Souto que obteve médias um pouco maiores no pasto, isso por ainda existir uma pastagem natural que ainda resiste à seca, enquanto, no mesmo momento, o SAF perdeu algumas de suas espécies frutíferas devido à seca.

Após a aração do solo nos pastos de Lajinha e Areal, suas médias também diminuíram consideravelmente, e os SAF's por perder uma parte de sua diversidade vegetativa também foi afetado pela seca, principalmente no Areal que grande parte que resistiu a seca foi às cactáceas, como pouca diversidade no SAF as atividades como decomposição das matérias orgânicas que ocorrem devido as folhas caídas das copas das árvores diminuiu.



**Figura 24:** Efluxo de CO<sub>2</sub> no solo

Observa-se que com o passar dos meses houve uma menor emissão desse gás, devido à seca, no entanto, os SAF's de todos os sítios estudados, ainda apresentaram médias que foram maiores que nos pastos.

Silva et al. (2016), citam que o efluxo de CO<sub>2</sub> no solo, decorre de diversas atividades, como a microbiana e a respiração das raízes, entretanto, quando somado com fatores ambientais como a temperatura e umidade, podem ocorrer o aumento ou a diminuição das emissões devido a variabilidade temporal. Silva Junior et al. (2012) em seu experimento na Floresta Nacional de Caxiuanã encontraram uma relação moderada entre a temperatura do solo e os efluxos de CO<sub>2</sub> no solo.

De modo geral, os sistemas SAF x pasto quando comparados no mesmo mês, não apresentaram diferenças significativa, no entanto quando confrontados com relação ao tempo, eles apresentaram uma moderada variação. Isso ocorre devido a diminuição da biodiversidade que existia no local no decorrer dos meses, ocasionado devido aos períodos sem chuvas. Vale salientar que a taxa de difusão gasosa no solo depende da profundidade e densidade do sistema radicular, temperatura do solo, tortuosidade do espaço poroso, dentre outros (JONG VAN LIER, 2001).

## 6. CONCLUSÕES

As práticas agroflorestais fornecem elementos para desenvolver e consolidar novos modelos de exploração agropecuária e geração de renda para a agricultura familiar, agregando conservação ambiental com produção agrícola diversificada.

Os comportamentos hidrodinâmicos e físicos do solo mostraram que podem influenciar, na dinâmica de efluxo de CO<sub>2</sub> do solo, pois possibilita avaliar o estado em que o solo se encontra, quando comparado os sistemas de SAF e Pastagem.

O efluxo de CO<sub>2</sub> representa um dos principais processos no ciclo global do carbono, contudo, notou-se uma associação direta com as condições do ambiente como a umidade e temperatura do solo, tendo em vista as mudanças do ambiente ocorridas nos períodos chuvoso e seco, bem como, com o tipo de uso do solo.

Diante do longo período de estiagem que assolou o semiárido nos últimos anos, os SAF's demonstraram resultados melhores que os pastos nos três sítios estudados, tanto para os comportamentos hidrodinâmicos e físicos do solo, como para o efluxo de CO<sub>2</sub> do solo, devido às áreas de SAF terem uma maior diversidade de plantas.

Contudo, o efluxo de CO<sub>2</sub> do solo demonstrou uma relação com a umidade e a temperatura do solo, o efluxo de CO<sub>2</sub> do solo e a temperatura do solo mostram uma relação de distribuição temporal para os sistemas em razão da falta de chuva, bem como, influência da temperatura e umidade sobre a atividade microbiológica do solo.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTIERI, M. A. **Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable**. 4. ed. Montevideo: Nordan Comunidad, Uruguay. p.315. 1999

ALVES, T. S.; CAMPOS, L. L.; NETO, N. E.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. **Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos**. Acta Scientiarum. Agronomy. v. 33, n. 2, p. 341-347. 2011.

ANDRADE, J. A.; CORDEIRO, J. R. N. **Uma discussão sobre a possibilidade da criação institucional e sinergia entre Estado e sociedade: o caso do P1MC no Semiárido brasileiro**. Cad. EBAPE.BR. Vol. 14. Art. 8. Edição Especial. Rio de Janeiro. Jul. 2016.

APAC. Agência Pernambucana de Água e Clima. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/sighpe/>. Acesso em: 20/12/2017.

ARAÚJO FILHO, J.A. **Caatinga: agroecologia versus desertificação**. Ciência Hoje. Vol. 30. Nº 180. P. 44-45. 2002.

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

ARIAS-NAVARRO, C.; DÍAZ-PINÉS, E.; KLATT, S.; BRANDT, P.; RUFINO, M. C.; BUTTERBACH-BAHL, K.; VERCHOT, L. V. **Spatial variability of soil N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> fluxes in different topographic positions in a tropical montane forest in Kenya**. Journal of Geophysical Research. Biogeosciences. 122 (3), 514–527. 2017.

ARNÁEZ, J.; LANA-RENAULT, N.; LASANTA, T.; RUIZFLAÑO, P.; CASTROVIEJO, J. **Effects of farming terraces on hydrological and geomorphological processes**. A review. Catena. (128) 122–134. 2015.

ASSIS, J. M. O.; SILVA, R. F.; SOUSA, W. S.; IRMÃO, R. A.; CORREIA, A. M. **Tendências Climáticas Observadasno Período Chuvosono Sertão de Pernambuco**. Revista Brasileira de Geografia Física. v. 06 n. 02. p. 211-222. 2013.

ASSIS, R. L.; LAZARINI, G. D.; LANCAS, K. P.; CARGNELUTTI FILHO, A. **Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água**. Engenharia Agrícola. v. 29, n. 4, p. 558-568. 2009.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; MELLO, J. M.; SILVA, A. M. **Padrão espaço-temporal da umidade volumétrica do solo em uma bacia hidrográfica com predominância de latossolos.** Revista Brasileira de Ciências do Solo. 35:1801-1810. 2011.

AYRES, E. C. B.; RIBEIRO, A. E. M. **Inovações agroecológicas no Nordeste de Minas Gerais: o caso dos sistemas agrofloretais na agricultura familiar do alto Jequitinhonha.** Organizações Rurais & Agroindustriais., Lavras. V. 12. N. 3. P. 344-354. 2010.

BARBERA-CASTILLO, N.M. Diversidad de especies de hormigas em sistemas agroforestales contrastantes de café, em Turrialba, Costa Rica. Dissertação (Mestrado). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 2001.

BARROS, C. A. P.; MINELLA, J. P. G.; TASSI, R.; DALBIANCO, L.; OTTONELLI, A. S. **Estimativa da infiltração de água no solo na escala de bacia hidrográfica.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. V.38, p 557-564. 2014.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. **Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos Cerrados.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. 25:167-177. 2001.

BOWDEN, R. D.; NEWKIRK, K. M.; RULLO, G. M. **Soil Biol. Biochem.** 30, 12. 1998.

BREMAN, H.; KESSLER, J. J. **The potential benefits of agroforestry in the Sahel and other semi – arid regions.** European Journal of Agronomy, v. 7, p. 25-33. 1997.

BRITO, L. F. MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JUNIOR, N. **Spatial variability of soil CO<sub>2</sub> emission in different topographic positions.** Bragantia, v. 69, n.4, p. 19-27. 2010.

CALOURO, F. **Atividades agrícolas e ambiente.** 1 ed. Porto. Sociedade Portuguesa de Inovação. 2005.

CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. **Spatial variability of physical attributes of an alfisol under different hillslope curvatures.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. v.34, p.617-630. 2010.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. **Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso**

e manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo. vol. 33, núm. 1, Jan-Fev. pp. 147-157. 2009.

CARVALHO, M.P.; TAKEDA, E.Y.; FREDDI, O.S. **Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. v.27, p.695-703, 2003.

CONANT, R. T.; DALLA-BETTA, P.; KLOPATEK, C. C.; KLOPATEK, J. M. **Controls on soil respiration in semiarid soils**. Soil Biology & Biochemistry. 36. p 945–951. 2004.

CORADO NETO, F. C.; SAMPAIO, F. M. T.; VELOSO, M. E. C.; MATIAS, S. S. R.; ANDRADE, F. R.; LOBATO, M. G. R. **Variabilidade Espacial da Resistência à Penetração em Neossolo Litólico Degradado**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. v.39. p.1353-1361. 2015.

COSTA, C. D. O.; ALVES, M. C.; SOUSA, A. D. P.; SILVA, H. R.; GONZÁLEZ, A. P.; AVALOS, J. M. M.; BESKOW, S.; MARQUES, A. P. **Estimativa das perdas de solo e deposição de sedimentos em uma sub-bacia hidrográfica sob processo de degradação ambiental**. Revista de Ciências Ambientais. Canoas, v.9, n.1, p.67-86. 2015.

COSTA, M. N. M.; BECKER, C. T.; BRITO, J. I. B. **Análise Das Séries Temporais De Precipitação Do Semiárido Paraibano Em Um Período De 100 Anos - 1911 A 2010**. Revista Brasileira de Geografia Física. V. 06, N. 04, pag. 680-696. 2013.

COSTA, R. B.; ARRUDA, E. J.; OLIVEIRA, L. C. S. **Sistemas agrossilvipastoris como alternativa sustentável para a agricultura familiar**. Revista Internacional de Desenvolvimento Local. Vol. 3. N. 5. p. 25-32. Set. 2002.

CRISPIM, A. B.; SOUZA, M. J. N.; QUEIROZ, P. H. B.; SILVA, E. V. **A Questão da Seca no Semiárido Nordeste e a Visão Reducionista do Estado: A Necessidade da Desnaturalização dos Problemas Socioambientais**. AMBIENTE & EDUCAÇÃO - Revista de Educação Ambiental. Vol. 21. n.2. 2016.

CUNHA, L. F.L; VASCONCELOS, S. S.; RAMOS, H. M. N.; COSTA, A. N. M. **Efluxo de CO<sub>2</sub> do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo no Nordeste do Pará**. 20º Seminário de Iniciação Científica e 4º Seminário de Pós-graduação da Embrapa Amazônia Oriental. Belém – PA. 2016.

DEXTER, A. R.; CZYZ, E. A.; GATE, O. P. **A method for prediction of soil penetration resistance.** Soil & Tillage Research. Amsterdam. v.93, p.412–419. 2007.

DEXTER, A.R.; CZYZ, E, A.; GATE, O. P. **Soil structure and the saturad hydraulic conductivity of subsoils.** Sail and Tillage Reserch. Amsterdam. v.79, n.2, p. 185-189. 2004.

DIAS, A. T. C.; RUIJVEN, J. V.; BERENDSE, F. **Plant species richness regulates soil respiration through changes in productivity.** Oecologia, 163: 805-813. 2010.

DIXON, R. K.; BROWN, S.; HOUGHTON, R. A.; SOLOMON, A. M.; TREXLER, M. C.; WISNIEWSKI, J. **Science.** 263. 1994.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo.** 3. ed. Revista e Ampliada. cap 10, p. 95. Brasília-DF. 2017.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Desmatamento mundial diminui, mas segue alarmante em muitos países. 2010. Disponível em: <https://www.fao.org.br/ddmcramp.asp>. Acesso em: 06 de outubro de 2017.

FREITAS, I. C; SANTOS F. C. V.; CUSTODIO FILHO R.O.; SILVA, N. R. A.; CORRECHEL, V. **Resistência à penetração em Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes formas de manejo** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.16. 2012.

FLORES, C. A.; RIBASKI, J.; MATTE, V. L. **Sistema Agrossilvipastoril na região sudoeste do estado do Rio Grande do Sul.** Infobios. Informações Tecnológica. 2010.

FONTENELLE, W.; SALVIANO, A. A. C.; MOUSINHO, F. E. P. **Atributos físicos de um Latossolo Amarelo sob sistemas de manejo no cerrado piauiense.** Revista Ciência Agronômica, v. 40, n.2, p. 194-202, 2009.

FURTADO, D. A. **Tecnologias adaptadas para o desenvolvimento sustentável do semiárido brasileiro.** Campina Grande, EPGRAF. 1 Ed. v.2. p.10. 2014.

GAMARRA-ROJAS, G.; FABRE, N. **Agroecologia e mudanças climáticas no Trópico Semiárido.** Revista do Desenvolvimento Regional. Santa Cruz do Sul: Universidade de Santa Cruz do Sul. V. 22, n. 2. maio-agosto. 2017.

GALVANI, E. **O significado de normal climatológica e normal climatológica provisória nos estudos climáticos: potencialidades e limitações.** XIV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Dourados: UFGD. 2011.

GUERRA, A.; MARCAL, M.; POLIVANOV, H.; LIMA, N.; SOUZA, U.; FEITOSA, A.; DAVIES, K.; FULLEN, M.A.; BOOTH, C.A. **Environment management and health risks of soil erosion gullies in São Luíz (Brazil) and their potential remediation using palm-leaf geotextiles.** In Environmental Health Risk II; WIT Press: Southampton, pp. 459–467, UK. 2005.

HARMON, M. E.; BOND-LAMBERTY, B.; TANG, J.; VARGAS, R. **Heterotrophic respiration in disturbed forests: a review with examples from North America.** Journal of Geophysical Research. v.116. G00K04. 2011.

HAVERKAMP, R.; ROSS, P.J.; SMETTEM, K.R.J.; PARLANGE, J.Y. **Three dimensional analysis of infiltration from the disc infiltrometer. 2. Physically based infiltration equation.** Water Resources Research. v.30, p.2931-2935. 1994.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Dinâmica da cobertura e uso da terra no Brasil, 2000 - 2014. Rio de Janeiro: IBGE. 2016. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/usodaterra/default.shtm>. Acesso em: 01/04/2018.

IZAC, A. M. N.; SANCHEZ, P. A. **Towards a natural resource management paradigm for international agriculture: the example of agroforestry research.** Agricultural Systems. Vol. 69. P. 5-25. 2001.

JANSSENS, I. A.; KOWALSKI, A. S.; CEULEMANS, R. **Forest floor CO<sub>2</sub> fluxes estimated by eddy covariance and chamber-based model.** Agricultural and Forest Meteorology. Vol.106, Issue 1, 6 January. P. 61-69 2001.

JANSSENS, I. A.; KOWALSKI, A. S.; LONGDOZ, B.; CEULEMANS, R. **Assessing forest soil CO<sub>2</sub> efflux: an in situ comparison of four techniques.** Tree Physiology, Berkeley. v.20, n.1, p.23-32. Jan. 2000.

JONG VAN LIER, Q. **Oxigenação do sistema radicular: uma abordagem física.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. 25:233-238. 2001.

KEMMITT, S. J.; LANYON, C. V.; WAITE, I. S.; WEN, Q.; ADDISCOTT, T.M.; BIRD, N. R. A.; O'DONNELL, A. G.; BROOKES, P. C. **Mineralization of native soil organic matter is not regulated by the size, activity or composition of the soil microbial biomass – a new perspective.** *Soil Biology & Biochemistry*. pp.61-73. 2008.

LAL, R. **Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation.** *Sustainability*. 7, 5875-5895. 2015.

LAL, R. **Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition.** *Food Sec.* 1, 45–57. 2009.

LAVADO, R. S., TABOADA, M. A. **The Argentinean Pampas: A key region with a negative nutrient balance and soil degradation needs better nutrient management and conservation programs to sustain its future viability as a world agro resource.** *Journal of Soil and Water Conservation*. v. 64, n. 5, p. 150-153. 2009.

LI-COR, 6400-09. *Soil CO<sub>2</sub> Flux Chamber Instruction Manual*. LI-COR, Lincoln, Nebraska USA. 2003. Disponível em: <https://www.licor.com/documents/iqpbvjolxbhrf52mlimp>. Acesso em: 15 de novembro de 2017.

LIMA, F. S.; MELLO, F. S. **Espaço agrário e pequena produção no Brejo Paraibano: o caso da floricultura da comunidade Avarzeado.** Encontro Nacional de Geografia Agrária. São Paulo. p.1-21. 2009.

LIMA, J. R. S.; SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; SILVA, I. F.; CORRÊA, M. M.; LIRA, C. A. B. O. **Atributos físico-hídricos de um Latossolo Amarelo cultivado e sob mata nativa no Brejo Paraibano.** *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. v.9, n.4, p.599-605. 2014.

MAESTRE, F. T., CORTINA, J. **Small-scale spatial variation in soil CO<sub>2</sub> efflux in a Mediterranean semiarid steppe.** *Applied Soil Ecology*. v.23. p.199–209. 2003.

MARENGO, J. A. **Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil.** *Revista Parcerias Estratégicas*. BRASÍLIA-DF. N.27. 2008.

MASCARENHAS, A. R. P.; VOLPATO SCCOTI, M. S.; MELO, R. R.; CORRÊA, F. L. O.; SOUZA, E. F. M.; ANDRADE, R. A.; BERGAMIN, A. C.; MÜLLER, M. W. **Atributos**

**físicos e estoques de carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-Ocidental.** Article. March 2017.

MATIAS, M. C. B.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. S. **Propriedades químicas em Latossolo Amarelo de Cerrado do Piauí sob diferentes sistemas de manejo.** Revista Ciência Agronômica. v.40, p.356-362. 2009.

MATSINHE, D. Z. **Uso de tubo de PVC para determinação da densidade do solo visando o manejo da irrigação.** Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais. 2016.

MCT- Ministério da Ciência e Tecnologia. Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. 2009. Disponível em: [http://ecen.com/eee75/eee75p/inventario\\_emissoes\\_brasil.pdf](http://ecen.com/eee75/eee75p/inventario_emissoes_brasil.pdf). Acesso em: 15 de dezembro de 2017.

METCALFE, D. B.; FISHER, R. A.; WARDLE, D. A. **Plant communities as drivers of soil respiration: pathways, mechanisms, and significance for global change.** Biogeosciences. v.8. p. 2047–2061. 2011.

METCALFE, D. B.; LOBO-DO-VALE, R.; CHAVES, M. M.; MAROCO, J. P.; ARAGÃO, L. E. O. C.; MALHI, Y.; COSTA, A. C. L.; BRAGA, A.P.; GONÇALVES, P. H.L.; SILVA JUNIOR, J. A.; COSTA, M. C.; ALMEIDA, S. S.; CAMPBELL, C.; HURRY, V.; WILLIAMS, M.; MEIR, P. **Impacts of experimentally imposed drought on leaf respiration and morphology in an Amazon rain forest.** Functional Ecology. v. 24. p.524-533. 2010.

MMA/SRH. Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca: PAN-Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MDA. 242p. 2005. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr\\_desertif/\\_arquivos/pan\\_brasil\\_portugues.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_desertif/_arquivos/pan_brasil_portugues.pdf). Acesso em: 10 de janeiro de 2018.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. **Olhares sobre as políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido.** RECURSOS HÍDRICOS EM REGIÕES SEMIÁRIDAS: ESTUDOS E APLICAÇÕES. Cap 1. P 24. 2012.

MOTA, F. O. B.; NESS, R. L. L.; MOTA, J. C. A.; CLEMENTE, C. A.; SOUSA, S. C. **Physical quality of an oxisol under different uses.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. Vol. 36, n. 1, p. 1828-1835. 2012.

MUÑOZ-ROJAS, M.; LEWANDROWSKI, W.; ERICKSON, T. E.; DIXON, K. W.; MERRITT, D. J. **Soil respiration dynamics in fire affected semiarid ecosystems: effects of vegetation type and environmental factors.** Science of the Total Environment. v. 572, p.1385–1394. 2016.

NASCIMENTO, F. R. **Os Semiáridos e a Desertificação no Brasil.** REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA. V. 9. N. 2. P. 07-26. Fortaleza-Brasil. Jul./Dez. 2015.

NAIR, P. K. R. **Soil productivity aspect of agroforestry.** Nairobi: ICRAF. p.83. 1984.

OLIVEIRA, R. M.; COSTA, W. R. C.; SAMBUICHI, R. R.; HELLMEISTER FILHO, P. **Importância do sistema agroflorestal cabruca para a conservação florestal da região cacauceira, sul da Bahia, Brasil.** Revista Geográfica de América Central. EGAL. Costa Rica. P. 1-12. 2011.

OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. **A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America.** Geophysical Research Letter. V 30. N 23. 2199. 2003.

OYONARTE, C.; REY, A.; RAIMUNDO, J.; MIRALLES, I.; ESCRIBANO, P. **The use of soil respiration as an ecological indicator in arid ecosystems of the SE of Spain: spatial variability and controlling factors.** Ecological Indicators. v.14. p. 40–49. 2012.

PANOSSO, A. R.; MARQUES JR, J.; MILORI, D. M. B. P.; FERRAUDO, A. S.; BARBIERI, D. M.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. **Soil CO<sub>2</sub> emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under slash-and-burn and green harvest.** Soil tillage Research. Amsterdam: Elsevier B.V. v. 111, p. 190-196. 2011.

PARRON, L. M; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. **Estoques de carbono no solo como indicador de serviços ambientais.** Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica. Brasília - DF: Embrapa. Cap.7, p. 71-83. 2015.

PERI, P. L.; BAHAMONDE, H.; CHRISTIANSEN R.. **Soil respiration in Patagonian semiarid grasslands under contrasting environmental and use conditions.** Journal of Arid Environments. v 119, p 1-8. August. 2015.

PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O. **Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais.** Revista de Ciências Agrárias. 56(1): 40-47. 2013.

PINTO-JÚNIOR, O. B.; SANCHES, L.; DALMOLIN, A. C.; NOGUEIRA, J. S. **Efluxo de CO<sub>2</sub> do solo em floresta de transição Amazônia Cerrado e em área de pastagem.** Acta Amazônica. v. 39, n. 4, p. 813-821. 2009.

PRAGANA, R. B.; RIBEIRO, M. R.; NÓBREGA, J. C. A.; FILHO, M. R. R.; COSTA, J. A. **Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do cerrado piauiense.** Revista Brasileira de Ciência Solo. v. 36, n. 5, p. 1591-1600. 2012.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. 2017. Disponível em: <<http://www.Rproject.org/>>.

RAWLS, W. J.; BRAKENSIEK, D. L.; SAXTON, K. E. **Estimation of soil water properties.** American Society of Agricultural and Biological Engineers. v. 25, p. 1316–1320. 1982.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SILVA, V. R. **Compactação em solos sob plantio direto: limites críticos e recuperação.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. 2007.

RENA, A. B.; GUIMARÃES, P. T. G. **Sistema Radicular do Cafeeiro: Estrutura, Distribuição, Atividade e Fatores que o Influenciam.** EPAMIG: Belo Horizonte. 2000.

RODRIGUES, C. T. A.; ALMEIDA, A. Q.; SOUSA, C. A. A.; NUNES, E. O. S.; CARVALHO, A. A.; SARAIVA, W. F.; SANTOS, M. S. **Mapeamento do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Rio Pajeú-PE.** XII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão – JEPEX. UFRPE: Recife. 2012

RODRIGUES, E. R.; MONTEIRO, R.; CULLEN JUNIOR, L. **Dinâmica inicial da composição florística de uma área restaurada na região do Pontal do Paranapanema.** Revista Árvore. v. 34, n. 5, p. 853 – 861. 2010.

RYU, S.; CONCILIO, A.; CHEN, J.; NORTH, M.; MA, S. **Prescribed burning and mechanical thinning effects on belowground conditions and soil respiration in a mixedconifer forest, California.** Forest Ecology and Management. p.1324-1332. 2009.

SALIN, T. C.; FERREIRA, R. L. C.; ALBUQUERQUE, S. F.; SILVA, J. A. A.; ALVES, F. T. J. **Caracterização de sistemas agrícolas produtivos no semiárido brasileiro como bases para um planejamento agroflorestal.** Revista Caatinga. Mossoró. v. 25, n. 2, p. 109-118. mar.-jun. 2012.

SÁNCHEZ, M.D. **Panorama dos sistemas agroflorestais pecuários na América Latina.** Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais. Juiz de Fora. p.9-17. 2001.

SANTOS, G. G. MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA, P. M.; BECQUER, T. **Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária.** Pesquisa Agropecuária Brasileira. v.46, p.1339-1348. 2011.

SANTOS, J. M. **Estratégias de convivência para a conservação dos recursos naturais e mitigação dos efeitos da desertificação no semiárido.** Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. INSA-PB - Campina Grande. 2011.

SANTOS, J. B. A. F.; SANTOS, E. S.; SOUZA, E. S.; TORRES, J. C. R.; BARROS, D. K. S. **Fluxo de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade do solo em área de caatinga. XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia.** V Simpósio de Mudanças Climáticas e Desertificação do Semiárido Brasileiro. Juazeiro-BA/Petrolina-PE. Brasil. 2017.

SCHROTH, G.; D'ANGELO, S. A.; TEIXEIRA, W. G.; LIEBEREI, R. **Conversion os secondary Forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazônia: consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years.** Forestry Ecology and Management. v. 163, p. 131-150. 2002.

SCHWENDENMANN, L. VELDKAMP, E.; BRENES, T.; O'BRIEN J. J.; MACKENSEN, J. **Spatial and temporal variation in soil CO<sub>2</sub> efflux in an old-growth neotropical rain forest, la selva, Costa Rica.** Biogeochemistry, v. 64, n. 1 p. 111-128, 2003.

SEQUINATTO, L.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; MAZURANA, M.; MÜLLER, J. **Qualidade de um Argissolo submetido a práticas de manejo recuperadoras de sua estrutura física.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v 18, n 3, p. 344–350. 2014.

SHONO, K.; CADAWENG, E. A.; DURST, P. B. **Application of assisted natural regeneration to restore degraded tropical forestlands.** Restoration Ecology, Washington, V. 15, n. 4, p. 620 – 626. 2007.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; INHOFF, S. **Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. v.32, p.1-10. 2008.

SILVA, C. M.; VASCONCELOS, S. S.; MOURÃO JÚNIOR, M.; BISPO, C. J. C.; KATO, O. R.; SILVA JUNIOR, A. C.; CASTELLANI, D. C. **Temporal variation of soil CO<sub>2</sub> efflux in oil palm-based agroforestry systems in eastern Amazon.** Acta Amazônica. v. 46, n. 1, p. 1-12. 2016.

SILVA, D. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; OLIVEIRA, A. H.; SOUZA, F.; MARTINS, S. G.; MACEDO, R. L. G. **Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa.** Revista de Estudos Ambientais. 13: p.77-86. 2011.

SILVA JÚNIOR, J. A.; COSTA, A. C. L.; AZEVEDO, P. V.; COSTA, R. F.; METCALFE, D. B.; GONÇALVES, P. H. L.; BRAGA, A. P.; MALHI, Y. S.; ARAGÃO, L. E. O. E C.; MEIR, P. **Fluxos de CO<sub>2</sub> do solo na Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará, durante o experimento ESECAFLOR/LBA.** Revista Brasileira de Meteorologia. v.28, n.1, 85 – 94. 2013.

SILVA, M. A. S. **Entre o combate à seca e a convivência do semiárido: transições paradigmáticas e sustentabilidade do desenvolvimento.** 1º ed. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil. 2012.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. II - Grau de saturação em água.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. v.26, p.9-15, 2002.

SMETTEM, K. R. J.; PARLANGE, J. Y.; ROSS, P. J and HAVERKAMP, R. **Three-dimensional analysis of infiltration from the disc infiltrometer.** 1. A capillary-based theory. Water Resources Research, v.30, p.2925-2929, 1994.

SOANE, B. D., OUWERKERK, C. **Soil compaction problems in world agriculture.** In: van, (eds). Soil compaction in crop production. Netherlands : Elsevier. p.1-21. 1994.

SOUSA, G. M. R.; GAMARRA-ROJAS, G.; NUNES, E. M.; REIS, J. N. P.; BENTO, J. A. N. **Análise do capital social da agricultura no município de Pentecoste (CE)**. Revista Estudos Sociais. v.17, n.34, p.83-99. 2015.

SOUZA, B. I.; MARTINS, V. L. **Infiltração da água em solos de zona semiárida e sua relação com os processos de desertificação**. Boletim Gaúcho de Geografia. Associação Brasileira de Geógrafos. Porto Alegre - RS, Brasil. 39: 25-40, jul. 2012.

SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; ANGULO-JARAMILLO, R.; MACIEL NETTO, A. **Caracterização hidrodinâmica de solos: Aplicação do método Beerkan**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.12, n.2, p.128–135. 2008.

SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; ANGULO-JARAMILLO, R.; MACIEL NETTO, A. ; MONTENEGRO, S. M. G. L. ; BORGES, E. **Variabilidade espacial dos parâmetros hidrodinâmicos de duas parcelas agrícolas no estado da Paraíba**. Revista Brasileira de Ciência do Solo (Impresso), v. 32, p. 1795-1804, 2008.

SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; ANGULO-JARAMILLO, R.; LIMA, J. R. S.; SOARES, W. A.; MACIEL NETTO, A.; CABRAL, J. J. S. P. **Caracterização Hidrodinâmica de um solo na escala da parcela Agrícola**. VIII - Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Segurança Hídrica e Eficiência no uso da água, GRAVATÁ – PE. 2006.

SOTTA, E. D.; MEIR, P.; MALHI, Y.; NOBRE, A. D.; HODNETT, M.; GRACE, J. **Soil CO<sub>2</sub> efflux in a tropical forest in the central Amazon**. Global Change Biology., v. 10, p. 601-617, 2004.

SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; JARAMILLO, R. A.; MACIEL NETTO, A. **Caracterização hidrodinâmica de solos: Aplicação do método Beerkan**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.12, n.2, p.128–135. 2008.

SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; HECK, R. J.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; LIMA, J. R. S.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ANGULO-JARAMILLO, R.; VAUCLIN, M. **Effect of crusting on the physical and hydraulic properties of a soil cropped with Castor beans (*Ricinus communis* L.) in the northeastern region of Brazil**. Soil & Tillage Research, v. 141, p. 55-61, 2014.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. **Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar**. *Ciência Rural*. v.40. p .48-56. 2010.

SOUZA Z. M.; SILVA, M. L. S.; GUIMARÃES, D. T. S.; CARVALHO, M. P.; PEREIRA, G. T. **Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS)**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, n.25, p.699-707, 2001.

TRAVASSOS, I. S.; SOUZA, B. I.; SILVA, A. B. **Secas, Desertificação e Políticas Públicas No Semiárido Nordeste Brasileiro**. *Revista OKARA: Geografia em debate*. v.7, n.1, p. 147-164. 2013.

TEIXEIRA, M. N.. **O sertão semiárido. Uma relação de sociedade e natureza numa dinâmica de organização social do espaço**. *Revista Sociedade e Estado*. Vol. 31. N 3. Set/Dez-2016.

VALENTINI, C. M. A.; SANCHES, L.; PAULA, S. R.; VOURLITIS, G. L.; NOGUEIRA, J. S.; PINTO JR, O. B.; LOBO F. A. **Soil respiration and aboveground litter dynamics of a tropical transitional forest in northwest Mato Grosso, Brazil**. *Journal of Geophysical Research*. 113. 2008.

VILELA, W. T. C.; MINIGHIN, D. C.; GONÇALVES, L. C.; VILLANOVA, D. F. Q.; MARTINS, R. M.; PEREIRA, R. V. G. **Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: Revisão**. *PUBVET*. V.11, n.10, p.1036-1045. Out. 2017.

VINCENT, G.L.; SHAHRIARI, A.R.; LUCOT, E.; BADOT, P.-M; EPRON, D. **Spatial and seasonal variations in soil respiration in a temperate deciduous forest with fluctuating water table**. *Soil Biology and Biochemistry*. 38, 2527-2535. 2006.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P. **Relações entre tamanho de sedimentos erodidos, velocidade da enxurrada, rugosidade superficial criada pelo preparo e tamanho de agregados em solo submetido a diferentes manejos**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:1459-1471. 2009.

WÖSTEN, J. H. M.; LILLY, A.; NEMES, A. LE BAS C. **Development and use of a database of hydraulic properties of European soils**. *Geoderma*. v. 90, p. 169–185. 1999.