



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**TIAGO CAVALCANTE DA SILVA**

**ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO VERMELHO-  
AMARELO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NO MACIÇO DE  
BATURITÉ, CEARÁ**

**FORTALEZA**

**2018**

TIAGO CAVALCANTE DA SILVA

ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO VERMELHO-  
AMARELO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NO MACIÇO DE BATURITÉ,  
CEARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Manejo Sustentável do Solo e da Água e Matéria Orgânica do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Thales Vinícius de Araújo Viana.

Coorientador: Prof. Dr. Geocleber Gomes de Sousa.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S584a Silva, Tiago Cavalcante da.  
Alterações nos atributos químicos de um argissolo vermelho-amarelo sob diferentes sistemas de manejo no maciço de Baturité, Ceará / Tiago Cavalcante da Silva. – 2018.  
63 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Thales Vinícius de Araújo Viana.

Coorientação: Prof. Dr. Geocleber Gomes de Sousa.

1. Química do solo. 2. Qualidade do solo. 3. Queimada. I. Título.

CDD 631.4

---

TIAGO CAVALCANTE DA SILVA

ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO VERMELHO-  
AMARELO SOB DIFERENTES PRÁTICAS DE MANEJO NO MACIÇO DE BATURITÉ,  
CEARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Manejo Sustentável do Solo e da Água e Matéria Orgânica do Solo.

Aprovado em: 23/02/2018.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Thales Vinicius de Araújo Viana (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Geocleber Gomes de Sousa (Coorientador)  
Universidade da Integração Internacional Lusofonia Afro-Brasileira (Unilab)

---

Profª. Dra. Susana Churka Blum  
Universidade da Integração Internacional Lusofonia Afro-Brasileira (Unilab)

À Deus.

À minha família que é a base de tudo em minha vida, em especial aos meus pais, Maria Luzia e José Carlos, pelo amor e pela confiança que sempre depositaram em mim.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela dádiva da vida, força e coragem para trilhar mais essa jornada em minha vida.

Aos meus pais, José Carlos e Maria Luzia, meu infinito agradecimento. Sempre acreditaram que esse sonho seria possível e me ensinaram a perseguir meus ideais com dedicação e coragem.

Ao meu irmão Diogo Silva pela amizade, carinho, conselhos e por sempre está na torcida pelas minhas conquistas.

À minha Tia Elizete pelo companheirismo, paciência, compreensão, apoio e amor, essenciais para a concretização deste trabalho.

Aos meus avós, pelos sábios ensinamentos e conselhos que me tornaram cada vez melhor.

As minhas tias, tios e primos, pela confiança e pelos incentivos a mim nessa caminhada.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), minha segunda casa durante esses 8 anos, pela estrutura física oferecida, e em especial, ao Departamento de Ciência do Solo, pela acolhida durante o curso de Mestrado.

À Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), pelo apoio ao meu projeto de pesquisa.

A todos os bolsistas de iniciação científica da UNILAB, pela ajuda e suporte na coleta dos solos da presente pesquisa.

Ao Professor Thales Vinícius de Araújo Viana pela orientação e amizade ao longo do curso de Mestrado.

Ao Professor Geocleber Gomes de Sousa pelos valorosos ensinamentos repassados ao longo do curso e importantes contribuições para a realização deste trabalho.

À Professora Susana Churka Blum pelas contribuições relevantes para a qualidade da versão final deste trabalho.

À coordenação do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFC, em especial à Professora Mirian Cristina Gomes Costa, pela compreensão dedicada à mim nas solicitações realizadas e pelo imenso apoio na realização das análises químicas referentes a meu trabalho de pesquisa.

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

Ao Programa de Apoio à Pós-Graduação (PROAP) pelo apoio financeiro.

À técnica Deyse Maria (Laboratório de Manejo do Solo) pelo apoio no processo de realização das análises químicas parte de meu trabalho experimental.

À minha turma de mestrado, Acrísio, Laura, Paul, Wilner, Marcos, Ryshardson e Caroline, por todos os momentos juntos durante essa jornada.

Ao Professor Marcus Bezerra, meu primeiro orientador, pelo seu enorme coração e por ser um dos grandes incentivadores do meu crescimento acadêmico.

À minha amiga Keivia Lino, por ter me apresentado o mundo da pesquisa e sendo importantíssima nas minhas conquistas. Obrigado pelos anos de companheirismo, amizade e carinho.

As minhas amigas Raquel da Hora e Caroline Magalhães, pelas alegrias que desfrutamos juntos nesse período.

À minha amiga Laís Monique, pela amizade construída durante a graduação em Agronomia e seu fortalecimento durante todos esses anos.

Aos meus amigos Thiago Aragão e Diego Vasconcelos, por serem sempre presentes em minha vida e pela enorme amizade que construímos.

As minhas amigas de Morada Nova Bruna Carneiro, Camila Castro e Marília Freitas, por todos esses anos de amizade e carinho.

A todos os amigos da UFC, Alfredo Mendonça, Rômulo Uchoa, João Valdenor, Alexandre Reuber, Robevania Borges, Amanda Pinheiro, Danyelle Mauta, Jharine Xavier, por terem se tornado tão queridos em minha vida.

Aos meus amigos de Morada Nova, José Moura, Luciana Freitas, Marcia Freitas, Regino Silva, Caline Castro, Cintia Rodrigues, Eridene Silva, Augusta Carneiro, Jorge Pinheiro, Maria de Fatima, por sempre torcerem pelas minhas conquistas.

A todos que contribuíram para a realização desta pesquisa, o meu muito obrigado!

“Sonhos determinam o que você quer. Ação  
determina o que você conquista”

Aldo Novak

## RESUMO

O manejo do solo sob diferentes sistemas acarreta em alterações da qualidade química de seus atributos. O uso intensivo do fogo ainda é muito comum como ferramenta no preparo de áreas agrícolas voltadas para cultivo, atuando como um importante agente mineralizador do solo. Entretanto, sabe-se que tal prática altera direta e indiretamente os atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo e seus processos essenciais, tendo apenas como vantagens ao produtor sua maior facilidade e menor custo, em contrapartida gera impactos ambientais e sociais. Diante desse contexto, objetivou-se avaliar a influência dos sistemas de manejo, em solo cultivado com e sem queima, sob mata nativa e área de conversão agrofloresta, com base nas alterações dos atributos químicos do solo, no Maciço de Baturité, Ceará. O estudo foi realizado nos meses de novembro e dezembro de 2016 na comunidade Piroás, distrito de Barra Nova, pertencente ao município de Redenção, Ceará. O delineamento experimental foi inteiramente casualizados (DIC) em arranjo fatorial do tipo 4 x 3 constituído de 4 áreas de manejo, 3 profundidades, com 5 repetições, totalizando 60 unidades experimentais. As áreas avaliadas foram, A1: mata nativa, A2: conversão agrofloresta, A3: cultivo orgânico e A4: cultivo com queimada. Foram coletadas amostras de solo nas respectivas profundidades: 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm. Após coletadas, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, posteriormente identificadas e conduzidas ao laboratório de manejo do solo do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará (UFC). As seguintes variáveis químicas do solo foram analisadas: (N, P, K, Na, Ca, Mg, pH, Acidez potencial, Al, CE, COT, CTC, V%, SB e m%). O sistema de manejo com queima apresentou os maiores teores de N, K e diminuição nos teores de Al no solo. No solo de mata nativa, os teores dos macronutrientes foram menores, e os valores de V% e SB elevados e de m% baixos, quando comparados aos de queimada. O maior aporte de carbono orgânico total do solo foi encontrado na área de mata nativa. As áreas estudadas apresentaram valores esperados de acidez potencial, corroborados, pelos valores de pH observados.

**Palavras-chave:** Química do solo. Qualidade do solo. Queimada.

## ABSTRACT

The Soil management under different systems entail changes in the chemical quality of it's attributes. The intensive use of fire is still common like tool in preparation of agricultural areas directed to farming acting as an important mineralizing agent of the soil. But, it knows that such practice change directly and indirectly the physical attributes, chemical and microbiological of the soil and your nature processes, having as only advantages to the producer your greater fitness and low cost, in compensation create environmental and social impacts. In this context, the objective was to evaluate the influence of management systems on soil cultivated with and without burned, under native wood and agroforestry conversion area, with based on changes in soil chemical attributes in Maciço of Baturité, Ceará. The study was done in November and December 2016 at the Piroás community, in the district of Barra Nova, in Redenção city, Ceará. The experimental design was completely randomized (DIC) in a factorial arrangement of type 4 x 3 constituted of 4 management systems, 3 depths, with 5 repetitions, totalizing 60 experimental units. The áreas evaluated were, A1: native wood, A2: agroforestry conversion, A3: agricultural cultivation and A4: cultivation with burning. Soil samples were collected at the respective depths: 00-10 cm, 10-20 cm and 20-30 cm. After being collected, the samples were conditioned in plastic bags, posteriorly identified and taken to the soil chemistry laboratory of the Department of Soil Science of the Federal University of Ceará (UFC). The following chemical soil variables were analyzed: (N, P, K, Na, Ca, Mg, pH, potential acidity, Al, CE, COT, CTC, V%, SB and m%). The management system with burning presented the highest levels of N, K and decreased the levels of Al in the soil. In the soil of native wood, the macronutrient contents were lower and the values of V% and SB were highest and m% minors when compared to burning. The highest total organic carbon input of the soil was found in the native wood area. The studied areas presented expected values of potential acidity, corroborated by the observed pH values.

**Keywords:** Soil chemistry. Soil quality. Burned.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área experimental, município de Redenção, Ceará .....	25
Figura 2 – Mapa de solos do município de Redenção, Ceará .....	26
Figura 3 – Comparativo mensal da pluviosidade no biênio 2015-2016 .....	26
Figura 4 – Áreas estudadas, (4A) mata nativa, (4B) área de conversão agrofloresta, (4C) cultivo orgânico e (4D) queimada .....	28
Figura 5 – Amostragem do solo nas áreas do presente estudo .....	29
Figura 6 – Teores de nitrogênio (g/kg) em função dos sistemas .....	33
Figura 7 – Teores de nitrogênio (g/kg) em função das profundidades .....	34
Figura 8 – Teores de fósforo (mg/dm <sup>3</sup> ) em função dos sistemas .....	35
Figura 9 – Teores de fósforo (mg/dm <sup>3</sup> ) em função das profundidades .....	36
Figura 10 – Teores de potássio (mg/dm <sup>3</sup> ) nos sistemas de manejo em função das profundidades .....	37
Figura 11 – Teores de sódio (mg/dm <sup>3</sup> ) nos sistemas de manejo em função das profundidades .....	38
Figura 12 – Teores de cálcio (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) nos sistemas de manejo em função das profundidades .....	40
Figura 13 – Teores de magnésio (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) nos sistemas de manejo em função das profundidades .....	41
Figura 14 – Valores do pH nos sistemas de manejo em função das profundidades .....	43
Figura 15 – Acidez do solo (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) em função dos sistemas .....	44
Figura 16 – Teores de alumínio (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) nos sistemas de manejo em função das profundidades .....	45
Figura 17 – Condutividade elétrica (dS/m 25°) nos sistemas de manejo em função das profundidades .....	46
Figura 18 – Teores de COT (g/kg) em função dos sistemas .....	47

Figura 19 – Teores de COT (g/kg) em função das profundidades .....	48
Figura 20 – Valores da CTC ( $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ ) nos sistemas de manejo em função das profundidades .....	50
Figura 21 – Valores de V (%) nos sistemas de manejo em função das profundidades .....	51
Figura 22 – Valores de SB ( $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ ) nos sistemas de manejo em função das profundidades .....	52
Figura 23 – Teores de m (%) em função dos sistemas .....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo da análise de variância para as variáveis: Nitrogênio total (N total), fósforo (P), potássio (K) e sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) .....	32
Tabela 2 – Resumo da análise de variância para as variáveis: Potencial hidrogeniônico (pH), acidez, alumínio (Al), condutividade eléctrica (CE) e carbono orgânico total (COT) .....	42
Tabela 3 – Resumo da análise de variância para as variáveis: Capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V), soma de bases (SB) e saturação por alumínio (m) .....	49

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
2	<b>HIPÓTESES</b> .....	18
3	<b>OBJETIVOS</b> .....	18
3.1	<b>Objetivo geral</b> .....	18
3.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	18
4	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	19
4.1	<b>Solos do semiárido</b> .....	19
4.2	<b>Qualidade e manejo do solo</b> .....	20
4.3	<b>Atributos químicos do solo em resposta ao manejo</b> .....	22
5	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	25
5.1	<b>Descrição da área experimental</b> .....	25
5.2	<b>Delineamento experimental</b> .....	27
5.3	<b>Caracterização das áreas</b> .....	27
5.4	<b>Amostragem e método de coleta</b> .....	29
5.5	<b>Análises dos atributos químicos do solo</b> .....	30
5.6	<b>Análises estatísticas</b> .....	31
6	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	32
6.1	<b>Análise de variância para as variáveis: nitrogênio (<math>N_{total}</math>), fósforo (<math>P_{disponível}</math>), potássio (K) e sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg)</b> .....	32
6.2	<b>Nitrogênio (N)</b> .....	32
6.3	<b>Fósforo (P)</b> .....	34
6.4	<b>Potássio (K)</b> .....	36
6.5	<b>Sódio (Na)</b> .....	38
6.6	<b>Cálcio (Ca)</b> .....	39
6.7	<b>Magnésio (Mg)</b> .....	40

<b>6.8</b>	<b>Análise de variância para as variáveis: Potencial hidrogeniônico (pH), acidez potencial (Al+H), alumínio (Al), condutividade eléctrica (CE) e carbono orgânico total (COT) .....</b>	<b>42</b>
<b>6.9</b>	<b>Potencial hidrogeniônico (pH) .....</b>	<b>42</b>
<b>6.10</b>	<b>Acidez potencial (H+Al) .....</b>	<b>44</b>
<b>6.11</b>	<b>Alumínio (Al) .....</b>	<b>45</b>
<b>6.12</b>	<b>Condutividade eléctrica (CE) .....</b>	<b>46</b>
<b>6.13</b>	<b>Carbono orgânico total (COT) .....</b>	<b>47</b>
<b>6.14</b>	<b>Análise de variância para as variáveis: Capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%), soma de bases (SB) e saturação por alumínio (m%) .....</b>	<b>49</b>
<b>6.15</b>	<b>Capacidade de troca de cátions (CTC) .....</b>	<b>49</b>
<b>6.16</b>	<b>Saturação por bases (V%) .....</b>	<b>51</b>
<b>6.17</b>	<b>Soma de bases (SB) .....</b>	<b>52</b>
<b>6.18</b>	<b>Saturação alumínio (m%) .....</b>	<b>53</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>55</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A degradação ambiental vem se acentuando quando comparada aos tempos remotos, visto que a crescente exploração dos recursos naturais, muitas vezes mal planejadas e sem manejo adequado, acarreta graves consequências, levando a exaustão dos ecossistemas. O uso irracional dos recursos naturais causa impacto na vegetação e nas propriedades do solo, principalmente em regiões áridas e semiáridas.

Muitos estudos têm sido realizados na busca de informações sobre a qualidade dos solos perante as práticas de manejo adotadas, procurando entender a forma como se relacionam e como são afetados pelas distintas intervenções realizadas no ecossistema. É decorrente de que a intensificação das atividades agrícolas tem causado profundas alterações, muitas vezes de forma irreversível e danosa, principalmente por promover o rompimento dessas relações, com perda de grupos funcionais que podem levar a sérios danos ecológicos e econômicos.

A qualidade do solo associada a seus atributos químicos, físicos e biológicos propicia condições adequadas para o crescimento e o desenvolvimento das plantas e para a manutenção da diversidade de organismos que habitam o solo. Essa qualidade pode ser conceituada como a capacidade de esse recurso exercer várias funções, dentro dos limites do uso da terra e do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter ou melhorar a qualidade ambiental e contribuir para a saúde das plantas. Sua quantificação está diretamente associada aos atributos do solo que possibilitam o monitoramento de mudanças, a médio e longo prazo, o estado de qualidade desse solo, e as possíveis tomadas de decisões.

Importante indicador da qualidade do solo, a matéria orgânica do solo (MOS) está diretamente relacionada ao aporte de material orgânico. Apresenta potencial para ser utilizada como principal atributo da qualidade do solo, pois além de satisfazer o requisito básico de ser sensível a modificações pelo manejo do solo, é ainda fonte primária de nutrientes às plantas, influenciando a infiltração, retenção de água e susceptibilidade à erosão. Ao contrário da textura e mineralogia, o uso e o manejo do solo são controlados pelo homem e, dependendo de suas decisões, o estoque de carbono pode ser aumentado ou diminuído, promovendo condição de melhoria ou deterioração da qualidade do solo.

A adoção de práticas de manejo racionais que visam melhorar a qualidade do solo deve considerar os diversos fatores envolvidos no sistema de produção, essencialmente os de caráter físico, químico e biológico. Contudo, destaca-se que todo uso e exploração do solo causará alterações em seus atributos. As alterações no solo em resposta ao manejo podem

influenciar positiva e negativamente de acordo com as práticas adotadas. Sendo assim, se faz necessário o acompanhamento sistemático das alterações, possibilitando a utilização e o manejo mais adequado para cada tipo de solo e de cultura.

As práticas de manejo que envolvem o fogo ainda são muito utilizadas por agricultores para limpeza e preparo do solo para um possível plantio. Essa prática é feita muitas vezes de maneira indiscriminada sem acompanhamento, causando a degradação do solo. As queimadas também trazem uma série de prejuízos à biodiversidade, à dinâmica dos ecossistemas e a qualidade do ar.

O sistema de cultivo com queima pode trazer benefícios em curto prazo, como o aumento da fertilidade do solo, aumentando as concentrações de macronutrientes essenciais para as plantas. Já os prejuízos podem se perpetuar por um longo tempo, isso porque elas prejudicam não só a biodiversidade e o ecossistema, mas também aumentam a erosão do solo. Vale lembrar que durante um procedimento de queimada, os microrganismos presentes no solo são eliminados. Além disso, a matéria orgânica, que é tão importante para o fornecimento de potássio, fósforo e nitrogênio, que são imprescindíveis para o desenvolvimento de qualquer vegetal, também é total ou parcialmente destruída durante a queimada.

Na região do Maciço de Baturité, até então, não se tem informações sobre estudos de identificação de indicadores de alterações químicas em áreas sob sistemas de manejo característicos daquele local, tendo como referência o solo sob condições naturais. Estes estudos são importantes para o monitoramento e avaliação da qualidade dos sistemas de cultivo e o manejo do solo.

Nesse sentido, é fundamental avaliar os efeitos das práticas de manejo e sua resposta na qualidade do solo. Isso permitirá que os agricultores conheçam melhor o potencial produtivo de sua terra e entendam a importância da utilização do manejo.

## **2 HIPÓTESES**

O tipo de sistema de manejo do solo adotado na agricultura pode afetar negativamente os atributos químicos (N, P, K, Na, Ca, Mg, pH, Acidez potencial, Al, CE, COT, CTC, V%, SB e m%) do solo.

O uso do fogo no manejo do solo aumenta a sua fertilidade, apresentando altos teores de N, K e Ca.

## **3 OBJETIVO**

### **3.1 Objetivo Geral**

Avaliar os atributos químicos do solo afetados pelos sistemas de manejo, cultivo com e sem queima, mata nativa e área de conversão agrofloresta, no Maciço de Baturité, Ceará.

### **3.2 Objetivos Específicos**

- a) Determinar os atributos químicos do solo (N, P, K, Na, Ca, Mg, pH, Acidez potencial, Al, CE, COT, CTC, V%, SB e m%);
- b) Avaliar a capacidade do sistema de manejo em alterar a qualidade do solo;
- c) Comparar o efeito dos atributos químicos do solo em resposta aos sistemas de manejo analisados.

## 4 REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 Solos do semiárido

O solo é um sistema dinâmico e complexo que abriga diversas formas de vida, ocasionadas por um processo gradual de evolução que acompanha as transformações geoambientais (SILVA, 2009). Coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, formados por materiais minerais e orgânicos, contendo matéria viva e ocupando a maior porção do manto superficial das extensões continentais do planeta (EMBRAPA, 1999).

O território brasileiro se caracteriza por uma grande diversidade de tipos de solos, correspondendo, diretamente, à intensidade de interação das diferentes formas e tipos de relevo, clima, material de origem, vegetação e organismos associados, os quais, por sua vez, condicionam diferentes processos formadores dos solos. Uma característica peculiar do Nordeste brasileiro é a grande variabilidade de seus solos e condições ambientais, com diferentes vocações e potenciais para fins de produção (SOUZA, 1979).

Os solos do Nordeste se diversificam segundo os variados fatores de formação que lhes deram origem. Há solos ricos, pobres e degradados pela erosão e pelo fogo. O uso irracional pela agricultura itinerante tem sido a causa mais importante de sua devastação. Isto tudo leva a afirmar que o Nordeste possui amplas áreas de solos plenamente satisfatórios e diversificados que, uma vez explorados, permitiriam alimentar uma grande população, desenvolvendo condições para que esta tenha renda mais alta e melhor nível de vida, diferente da realidade atual nesta região (MANZATTO, 2002).

O solo é fundamental na composição do ecossistema terrestre, pois é dele que as plantas retiram todos os nutrientes necessários para se desenvolverem. O tipo de solo é muito importante para os cultivos agrícolas e otimização da agricultura. Nesse sentido, não são todos os solos que auxiliam no desenvolvimento da produção vegetal, posto que há solos pobres em nutrientes, os quais impedem seu crescimento vegetativo. Manejos inadequados como queimadas, o desmatamento, o desenvolvimento de pastos ou plantações e a contaminação dos recursos hídricos podem gerar diversos problemas ambientais, por exemplo, a erosão, que afeta diretamente o solo, desequilibrando assim, os ecossistemas (MAZOYER; ROUDART, 2010).

Os solos do semiárido nordestino são pouco desenvolvidos, mineralmente ricos, pedregosos, pouco espessos e com reduzida capacidade de retenção de água, fator que é limitante à produção nessa região. Há predomínio de solos pouco a moderadamente

desenvolvidos, principalmente das classes dos Luvisolos, Planossolos e Neossolos Litólicos (OLIVEIRA, 2008). Pelas características climáticas do semiárido e de diversidade litológica, há heterogeneidade nas classes de solo que variam desde solos jovens a solos evoluídos (JACOMINE, 2002). O processo de degradação é comum nos solos de regiões áridas e semiáridas. Ações antrópicas como o desmatamento as queimadas e o sobrepastejo, associadas a longos períodos de estiagem, têm sido apontadas como importantes indicadores do processo de degradação do solo nessas regiões (FARIAS *et al.*, 2013; ALAZARD *et al.*, 2015; SANTOS *et al.*, 2015).

O uso indiscriminado dos recursos naturais no semiárido, associado às características da região, acelera a degradação das terras, o que torna o solo mais suscetível aos processos erosivos. Com o aumento dos processos erosivos há aumento das taxas de remoção de solo e, conseqüentemente, nutrientes (SAHRAWAT, 2016).

#### **4.2 Qualidade e manejo do solo**

Devido ao crescimento populacional e a crise de alimentos no mundo, o manejo intensivo do solo, a monocultura e o uso de pesticidas e fertilizantes tornaram-se práticas comuns para o aumento da produção agrícola. A utilização destas práticas tem ocasionado perda de matéria orgânica do solo, erosão e contaminação das águas subterrâneas, além de prejuízos a microbiota e seus processos bioquímicos. A adoção de práticas equivocadas de mecanização do solo em regiões com alta susceptibilidade à processos erosivos, é um bom exemplo da exploração degradativa do solo. Nos dias atuais, há uma maior preocupação quanto às formas de uso e manejo do solo, haja visto o nível de degradação (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

A rápida degradação do solo sob exploração agrícola no mundo, especialmente nos países tropicais em desenvolvimento, despertou nas últimas décadas, a preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade da exploração agrícola (LAL; PIRCE, 1991). A discussão sobre qualidade do solo intensificou-se no início de 1990, quando a comunidade científica, consciente da importância do solo para a qualidade ambiental, começou a abordar, nas publicações, a preocupação com a degradação dos recursos naturais, a sustentabilidade agrícola e a função do solo nesse contexto (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

De acordo com Karlen, Ditzler e Andrews (2003), durante os dez primeiros anos após o surgimento do conceito de qualidade do solo o mesmo esteve muito associado ao conceito de fertilidade química, pois acreditava-se, que um solo quimicamente rico era um solo com alta qualidade, isto porque tinha a capacidade de prover a produção agrícola. Entretanto, a

percepção de qualidade do solo evoluiu, principalmente na última década, e, num entendimento mais amplo, percebe-se que não basta apenas o solo apresentar alta fertilidade química, mas, também, possuir boa estruturação e abrigar uma diversidade de organismos (ZILLI *et al.*, 2003).

Nas últimas décadas, a avaliação da qualidade do solo tem merecido destacada atenção, e a quantificação de alterações nos seus atributos, decorrentes da intensificação de sistemas de uso e manejo, tem sido amplamente realizada para monitorar a produção sustentável dos solos (NEVES *et al.*, 2007) e, conseqüentemente, a conservação dos recursos naturais.

Larson e Pierce (1994) definem qualidade do solo como uma combinação de propriedades físicas, químicas e biológicas que fornece os meios para a produção vegetal e animal, para regular o fluxo de água no ambiente e para servir como um filtro ambiental na atenuação e degradação de componentes ambientalmente danosos ou perigosos.

A avaliação da qualidade do solo pode ser estimada por diversos atributos (BEUTLER *et al.*, 2009) que podem ser alterados pela ação de fatores externos (ARAGÃO *et al.*, 2012). Entretanto, deve-se considerar que esta avaliação é bastante complexa devido à grande diversidade de usos, à multiplicidade de inter-relações entre fatores físicos, químicos e biológicos que controlam os processos e aos aspectos relacionados à sua variação no tempo e no espaço (MENDES *et al.*, 2006).

O uso e manejo do solo intensificam os processos de alterações das propriedades do solo, que podem influenciar positiva ou negativamente sua qualidade (MELO, 2012). Para Franzluebbbers e Haney (2006) as alterações das propriedades do solo ao longo do tempo são componentes essenciais para avaliar a dinâmica da qualidade do solo e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

O manejo agrícola é sustentável somente quando a qualidade dos recursos solo, ar e água é mantida ou melhorada, e, no caso do solo, a qualidade depende da manutenção e melhoria de seus atributos físicos, químicos e biológicos, bem como de sua contínua capacidade de produzir alimentos e fibras (DORAN; PARKIN, 1994).

Albuquerque *et al.* (2002) ressaltam a importância da utilização de práticas conservacionistas na agricultura (manutenção da cobertura do solo, o plantio entre leiras do mato em nível e a presença de árvores no sistema), permitindo o controle da perda de nutrientes, aumento da matéria orgânica, retenção de solo e água durante o período das chuvas, otimizando os atributos químicos e físicos do solo.

As práticas conservacionistas em regiões com características edafoclimáticas peculiares, caso do semiárido brasileiro, bem como a avaliação dos impactos dessas práticas na

qualidade do solo visando a identificação do manejo adequado, são importantes no planejamento conservacionista; pois, além de permitirem a difusão do conhecimento de práticas ecológicas entre os agricultores no campo, contribuem para sustentabilidade de sistemas agrícolas nessas regiões.

#### **4.3 Atributos químicos do solo em resposta ao manejo do fogo**

O declínio da fertilidade do solo no semiárido brasileiro, aliado as práticas de manejo tradicionais como o sistema de queima, sistema de agricultura geralmente de subsistência, tem influenciado significativamente os atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

A queima é considerada pelos produtores agrícolas como um método eficaz de preparo da terra antes do plantio de culturas. Entretanto, diversos estudos comprovam que a ação do fogo provoca uma série de alterações de natureza física, química e biológica no solo, como redução ou alteração da população microbiana, aumento temporário da disponibilidade de nutrientes alteração no pH, aumento do teor de carbono e oxidação da matéria orgânica. A prática da queima também pode alterar os teores de umidade do solo em razão de mudanças nas taxas de infiltração e de evaporação, e na porosidade (LORENZON *et al.*, 2014).

A quantidade da matéria orgânica, é considerada um dos fatores chaves da qualidade de um solo, principalmente em solos agrícolas, onde a mesma controla a erosão, atividade dos organismos presentes, exerce papel importante na complexação de metais pesados, transporte e disponibilidade de nutrientes. O empobrecimento do solo por meio do fogo acarreta em sua diminuição e conseqüentemente a maior parte dos nutrientes. Nesse sentido, a adoção de práticas que visam o manejo adequado das áreas faz-se necessário para a preservação dos ecossistemas (MARQUES, 2015).

No que se refere aos atributos utilizados rotineiramente na avaliação da fertilidade do solo, existem inúmeros trabalhos na literatura que ressaltam o aumento na disponibilidade de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) mineralizados imediatamente após o uso do fogo (GATTO *et al.*, 2003; RHEINHEIMER *et al.*, 2003). Estudos realizados por Matos *et al.* (2012) indicaram maiores valores de pH no sistema manejado com queima da vegetação devido ao efeito fertilizador das cinzas no solo. No entanto, esses efeitos podem desaparecer em médio prazo devido a lixiviação dos nutrientes pela ação das chuvas.

Os impactos do fogo sobre a sustentabilidade dos ecossistemas, e em especial, ao solo, pode ser dado em decorrência de alterações na sua estrutura e funcionalidade (NEARY *et al.*, 1999). Além disso, conforme informado por Mazoyer e Roudart (2010), a prática do uso do fogo e o clima quente durante a estação seca, aliados a solos sem cobertura, contribuem para maior aquecimento, promovendo a desidratação dos colóides das argilas, o que reduz ainda mais a capacidade do solo estocar nutrientes.

Este tipo de manejo de solo contribui, ainda, para a intensificação dos processos erosivos e o assoreamento de mananciais (ALBUQUERQUE *et al.*, 2001), tendo como consequência a fragilização do ecossistema. Em relação a vegetação, pode-se afirmar que acima de 80% da caatinga são sucessionais, cerca de 40% são mantidos em estado pioneiro de sucessão secundária e a desertificação já se faz presente em, aproximadamente, 15% da área (ARAÚJO FILHO; CARVALHO, 1997).

Em curto prazo, o fogo torna-se um agente de mineralização, aumentando a disponibilidade de nutrientes para o crescimento das plantas (SIMON *et al.*, 2016). Em estudo realizado em solos do cerrado Coutinho (1990) observou um enriquecimento desses solos provocado por ação das cinzas, e havendo um decréscimo do teor de Al, logo após a queima.

O impacto do fogo na quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo (MOS) depende, principalmente, da intensidade do fogo, tipo de vegetação e textura do solo (KNICKER, 2007). Em Latossolo sob cerrado submetido a 21 anos de queima, Roscoe *et al.* (2000) observaram redução drástica dos estoques de C e N na liteira, porém, nas amostras do solo, os teores de C e N não diferiram daqueles observados para duas áreas próximas, que não sofreram ação do fogo.

Os efeitos do fogo sobre a fauna do solo têm reflexos mais intensos nos níveis populacionais, sobretudo logo após a queima (ARAÚJO; RIBEIRO, 2005). Estudando a influência do manejo das queimadas sobre a fauna do solo Wikars e Schimmel (2001) constataram que logo após a queima ocorre redução no número de táxons. A maioria dos 17 táxons avaliados foi reduzida pela ação do fogo.

Agronomicamente, a eliminação de resíduos vegetais pelo fogo pode acarretar efeitos negativos. A manutenção desses resíduos sobre o solo como uma cobertura morta protege o solo contra processos erosivos (REDIN *et al.*, 2011). O material vegetal disposto no solo, alterado por decomposição, transformação e síntese irão constituir o húmus, influenciando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Material esse decomposto contribui para a nutrição vegetal, como fonte de nitrogênio, fosforo e enxofre, entre outros

nutrientes. Pode influir negativamente nas atividades da microbiota do solo (CERRI; MORAES, 1992).

Segundo Marques *et al.* (2015), o empobrecimento do solo por meio do fogo acarreta a diminuição da MOS e conseqüentemente a maior parte dos nutrientes. Nesse sentido, a adoção de práticas que visam o manejo adequado das áreas faz-se necessário para a preservação dos ecossistemas.

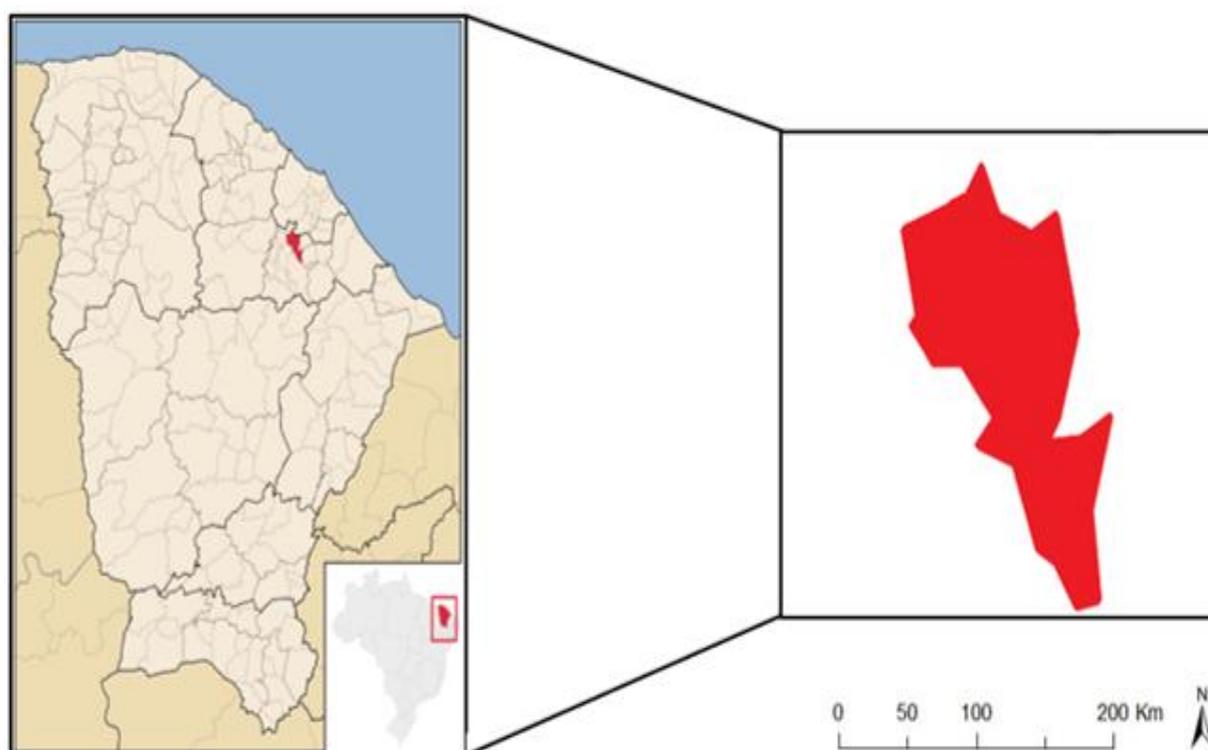
Portanto, a exploração de uma cultura na caatinga deve estar condicionada à utilização racional de diversos fatores de produção não apenas com vistas em obter índices de produtividade, mas também no sentido de preservar a sustentabilidade e qualidade do solo. Uma boa qualidade do solo constitui-se no mais importante elo entre as práticas agrícolas e a agricultura sustentável (SANTANA; BAHIA FILHO, 1998).

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Descrição da área experimental

O trabalho foi conduzido na Comunidade Piroás no município de Redenção, situado na região do Maciço de Baturité, Ceará (Figura 1). Possui uma área de 33 hectares localizada no distrito de Barra Nova em Redenção - CE. As coordenadas geográficas da área experimental são 04°13'S; 38°43'O e 88 m de altitude.

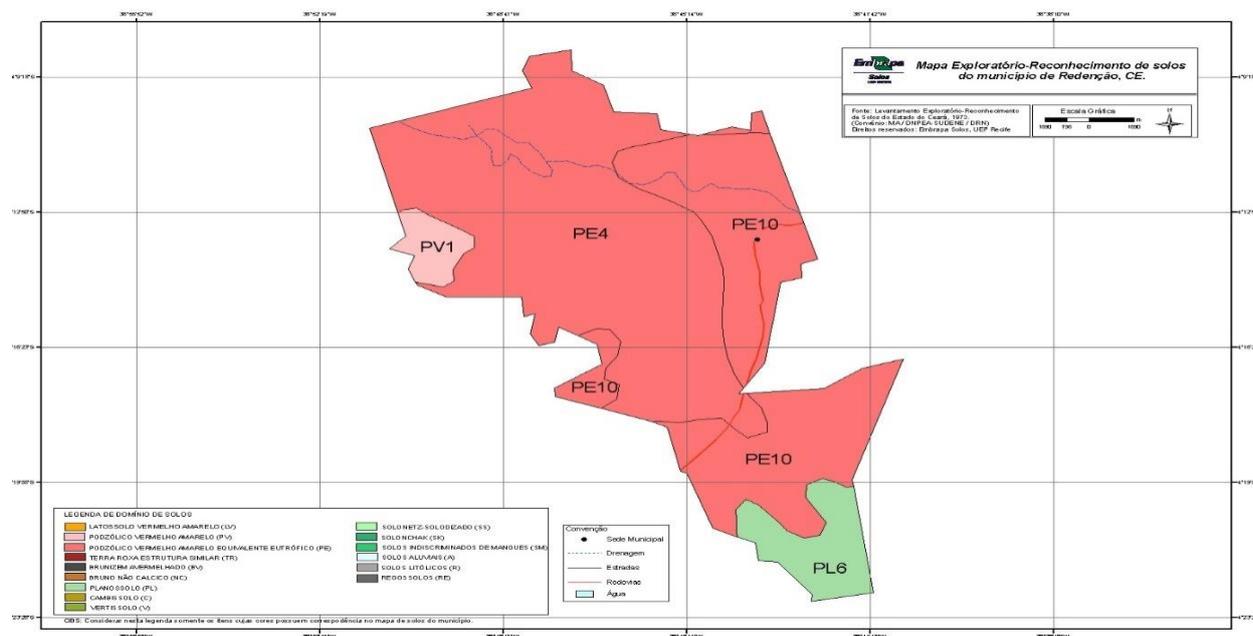
**Figura 1** - Localização da área experimental, município de Redenção, Ceará.



Fonte: Autor (2018) e Wikipédia.

De acordo com a EMBRAPA (2013), o solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo de textura areia franca (Figura 2).

**Figura 2** - Mapa de solos do município de Redenção, Ceará.

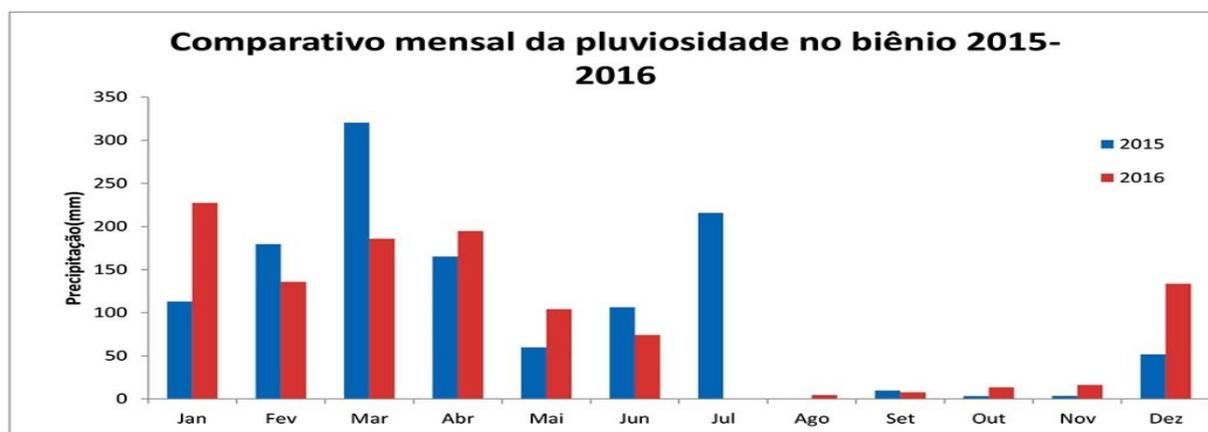


Fonte: Embrapa Solos UEP.

O clima da região, segundo Köppen, é classificado como BSw<sup>h</sup> apresentando as seguintes características: tropical semiárido; muito quente; chuvas concentradas nas estações do verão e outono, apresenta baixa nebulosidade, forte insolação, índices elevados de evaporação e temperaturas médias elevadas. Precipitação, temperatura e umidade relativa do ar, respectivamente iguais a 1086 mm, 27,0 °C e 63%, em valores anuais.

A coleta das amostras foi realizada nos meses de novembro e dezembro de 2016. Na figura 3, consta a precipitação do biênio 2015-2016 na área de estudo.

**Figura 3** - Comparativo mensal da pluviosidade no biênio 2015-2016.



Fonte: Fazenda Experimental Piroás (UNILAB), 2016.

## 5.2 Delineamento experimental

As amostragens de solo analisadas no presente trabalho foram distribuídas em um delineamento inteiramente casualizados (DIC) em arranjo fatorial do tipo 4 x 3, constituído de: 4 áreas de diferentes sistemas de manejo (A1: mata nativa, A2: área de conversão agrofloresta, A3: cultivo orgânico e A4: área de queimada) versus 3 profundidades (0-10, 10-20 e 20-30 cm). Todas as profundidades nas suas respectivas áreas de manejo, apresentaram 5 repetições cada, totalizando 60 unidades experimentais

## 5.3 Caracterização das áreas

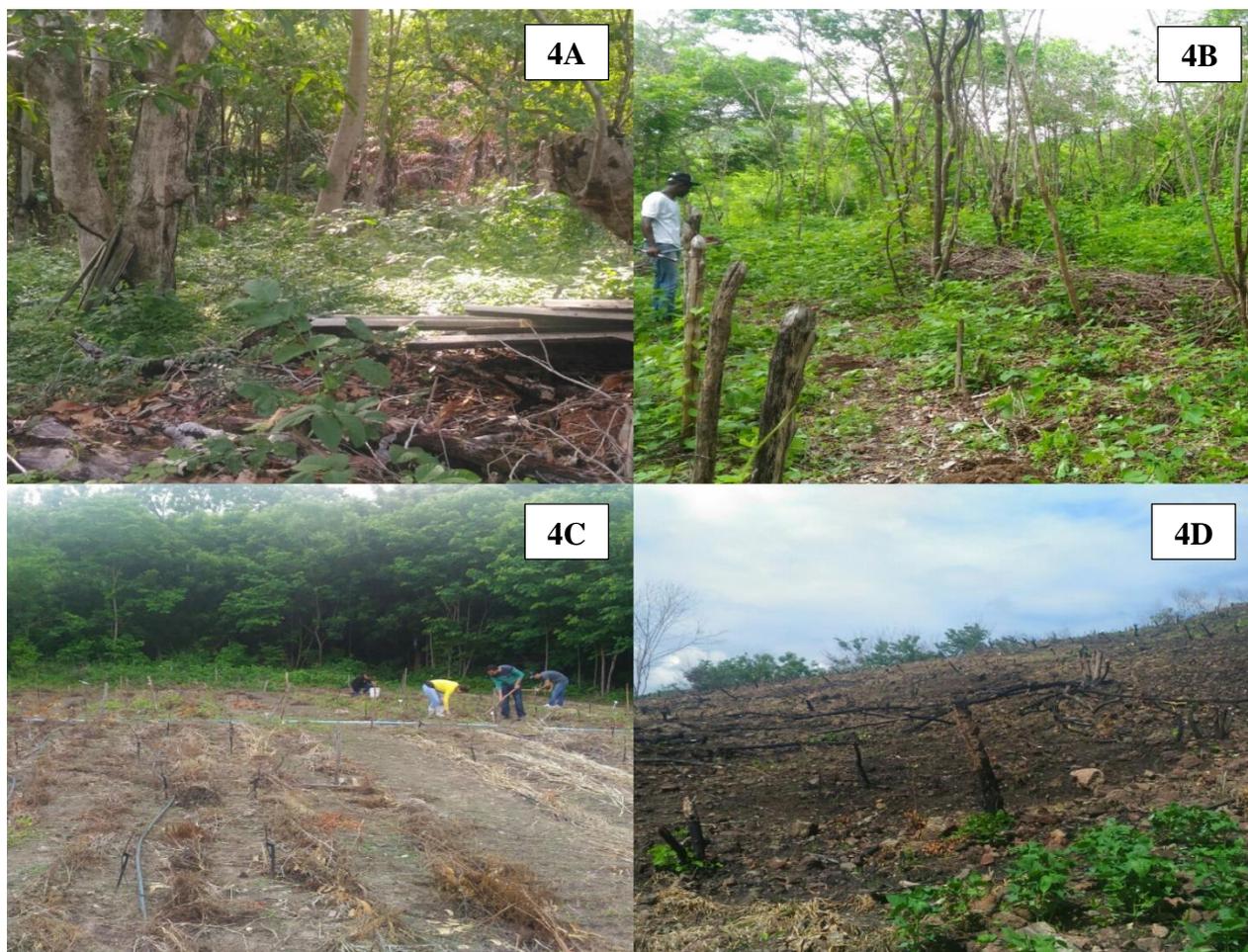
A área de mata nativa (Figura 4A), é caracterizada por ser um espaço em que não há interferência de seres humanos há mais de vinte anos. Possui formações vegetais predominantemente lenhosas, ou seja, arbóreas e arbustiva-arbórea, bem como as fases sucessoras dessas formações vegetais como carnaúba, pau-branco, jenipapo, mulungu e jurema. Ela está localizada na Fazenda Experimental Piroás, pertencente à Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB).

A área de conversão agrofloresta (Figura 4B) passou por um período de aproximadamente 6 anos sem interferência humana. Em outubro de 2016 foi implantado o sistema agroflorestal, que possibilitaria o cultivo de milho, feijão e arroz. A mesma está localizada na Fazenda Experimental Piroás.

A área de cultivo orgânico (Figura 4C), é caracterizada por ser de uso experimental em atividades de pesquisa por discentes da UNILAB, com recorrentes preparos de solo, adubações com fontes orgânicas e irrigação. Ela está instalada dentro da Fazenda Experimental Piroás. A área apresentava baixa fertilidade do solo e com pH baixo, indicando problemas de acidez. Perante esses problemas, a área sempre apresentou baixas produtividades. As principais culturas cultivadas foram girassol, arroz e feijão e ao fim de seu cultivo, os restos vegetais eram depositados ao solo. Além da incorporação de resíduos vegetais sobre o solo para fins de melhoria da fertilidade, também foram realizadas adubações com fontes orgânicas. Esses resíduos eram compostos por cama de frango e casca de arroz carbonizada, com um intuito de corrigir a acidez do solo. O solo é classificado quanto a sua classe textural como fraco-arenoso, sendo utilizado a irrigação por microaspersão para uma melhor eficiência da água pelas culturas cultivadas na área e diminuição das perdas de nutrientes por lixiviação.

A área de queimada (Figura 4D), utilizada para execução do trabalho, está localizado na comunidade de Piroás, próximo a fazenda da UNILAB. Ela está inserida na propriedade de um produtor da comunidade, que usa o fogo como forma de preparar o solo antes de realizar o plantio das culturas de milho, feijão, fava e arroz. Segundo as informações obtidas em entrevista com o agricultor, o processo de queimada começou em setembro de 2016 e finalizou em novembro do mesmo ano. A área não vinha sendo utilizada para o plantio desde 2007, totalizando 9 anos de pousio. Entretanto, ainda segundo o agricultor geralmente as parcelas de terra são queimadas de 5 em 5 anos. Não são realizadas adubações orgânicas ou inorgânicas, apenas o controle com herbicidas e pesticidas para controle de plantas invasoras e pragas, como a baratinha do arroz. O fornecimento de nutrientes ao solo se dá exclusivamente pela mineralização das cinzas proveniente da queima dos resíduos vegetais ao final do ciclo das culturas cultivadas.

**Figura 4** - Áreas estudadas, mata nativa (4A), área de conversão agroflorestal (4B), cultivo orgânico (4C) e área de queimada (4D).



Fonte: Autor (2016).

#### 5.4 Amostragem e método de coleta

Para realização das análises, foram coletadas amostras de solo deformadas, a fim de se avaliar efeitos do manejo nos atributos químicos. Cada amostra foi composta de 10 subamostras retiradas com o auxílio de um amostrador, do tipo trado holandês (Figura 5), em pontos aleatórios nas áreas de estudo. Após coleta, as subamostras foram homogeneizadas para obter amostras compostas e acondicionadas em sacos plásticos. Em seguida, passaram por processo de destorroamento e passadas em peneira com malha de 2 mm, caracterizando Terra Fina Seca ao Ar (TFSA).

**Figura 5** – Amostragem do solo nas áreas do presente estudo.



Fonte: Autor (2016)

## 5.5 Análises dos atributos químicos do solo

Na caracterização dos atributos químicos do solo foram determinadas as seguintes variáveis: pH em água (1:2,5), nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), sódio (Na), acidez potencial (H + Al), alumínio (Al), carbono orgânico total (COT), matéria orgânica do solo (MOS), condutividade elétrica (CE) e calculada a capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%). As análises químicas seguiram a metodologia descrita na EMBRAPA (2011).

O pH em água foi determinado potenciométricamente por meio de eletrodo imerso em suspensão solo, na relação 1:2,5.

O nitrogênio total (N) foi determinado segundo a metodologia de Raij *et al.* (1987).

O fósforo disponível (P) foi extraído através de Mehlich-1 (DEFILIPO; RIBEIRO, 1997) e determinado espectroscopicamente.

Os cátions cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) trocáveis foram extraídos por acetato de amônio ( $\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}_2$ ) e determinado por espectrofotômetro de absorção atômica.

Já o potássio ( $\text{K}^+$ ) e o sódio ( $\text{Na}^+$ ) trocáveis foram extraídos com solução de acetato de amônio ( $\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}_2$ ) e determinados por fotômetro de chama.

Para a determinação do teor de alumínio e de hidrogênio, a acidez potencial ( $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$  no solo), na extração foi utilizado solução de acetato de cálcio [ $(\text{CH}_3\text{COO})_2 \text{Ca} \cdot \text{H}_2\text{O}$ ] e a sua determinação feita por compleximetria.

O alumínio (acidez trocável) foi extraído com solução de cloreto de potássio (KCl 1 mol/L) e determinado por compleximetria.

Para determinação do carbono orgânico total (COT) foi utilizado a metodologia proposta por Yeomans e Bremner (1988) e adaptada por Mendonça e Matos (2005), na qual a oxidação da matéria orgânica se processa em via úmida.

A condutividade elétrica (CE) foi analisada no extrato de saturação, por meio da preparação da pasta saturada com água e determinada por condutimetria.

Os valores da soma de bases (SB), da capacidade de troca de cátions (CTC), da porcentagem de saturação por bases (V%) e da porcentagem de saturação por alumínio (m%) foram calculados utilizando os resultados das análises químicas.

## 5.6 Análises estatísticas

Os dados de cada variável analisada foram submetidos a uma análise de variância pelo teste F. Quando significativos por este teste, os dados referentes aos sistemas de manejo do solo avaliados (A1: mata nativa, A2: área de conversão agrofloresta, A3: cultivo orgânico e A4: área de queimada) e as profundidades (0-10, 10-20 e 20-30 cm) foram submetidos ao teste de Turkey para comparação das médias ao nível de 5% de probabilidade.

Foram realizados testes de comparação de médias dos dados das interações entre os sistemas de manejos versus as profundidades do solo nas áreas estudadas. Utilizou-se o software para análises estatísticas ASSISTAT 7.7 BETA (2016), auxiliado pelo software Microsoft Office Excel 2013.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Análise de variância para as variáveis: nitrogênio ( $N_{total}$ ), fósforo ( $P_{disponível}$ ), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg)

Na tabela 1 verifica-se que houve interação significativa ao nível de 1% de significância para as seguintes variáveis químicas: K, Na, Ca e Mg. Já para as variáveis  $N_{(Total)}$  e  $P_{(Disponível)}$  houve efeito isolado para área e profundidade ao nível de significância de 1 e 5%.

**Tabela 1** - Resumo da análise de variância para as variáveis: Nitrogênio total ( $N_{total}$ ), fósforo ( $P_{Disponível}$ ), potássio (K) e sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg).

FV	GL	Quadrados Médios					
		$N_{(Total)}$	$P_{(Disponível)}$	K	Na	Ca	Mg
Área	3	0,021*	212,94**	143,80**	7,57**	33,62**	7,27**
Profundidade	2	0,053**	158,66**	139,74**	12,25**	0,90**	1,48**
A x P	6	0,010 <sup>ns</sup>	25,33 <sup>ns</sup>	40,30**	3,85**	4,07**	2,47**
Tratamentos	11	0,021**	100,74**	86,61**	6,39**	11,55**	3,60**
Resíduo	48	0,005	15,52	0,83	0,92	0,11	0,17
CV%		24,58	32,60	12,86	23,14	9,01	22,08
Total	59						

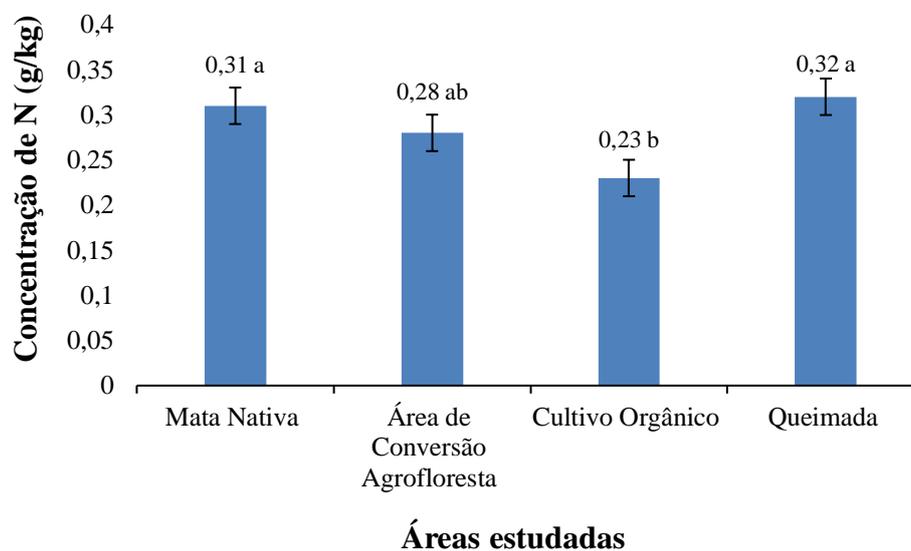
FV: Fontes de variação; GL: Graus de liberdade; CV%: Coeficiente de variação; (\*\*) significativo ao nível de 1% de probabilidade; (\*) significativo ao nível de 5% de probabilidade; (<sup>ns</sup>) não significativo.

### 6.2 Nitrogênio (N)

Na figura 6, observam-se um maior aporte de N total nos sistemas de conversão agrofloresta, queimada e mata nativa, 0,28, 0,32 e 0,31 g/kg de N, respectivamente, sendo que na área de cultivo orgânico observou-se a menor quantidade do elemento, 0,23 g/kg. Esse menor valor evidenciado na área de cultivo convencional pode ser explicado pelo fato do nitrogênio ser um elemento bastante dinâmico no solo, sendo possível que tenham ocorrido lixiviação ou

até sido carregado superficialmente pela água, e exportado pelas culturas cultivadas (LORENZON *et al.*, 2014).

**Figura 6** - Teores de nitrogênio (g/kg) em função dos sistemas



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

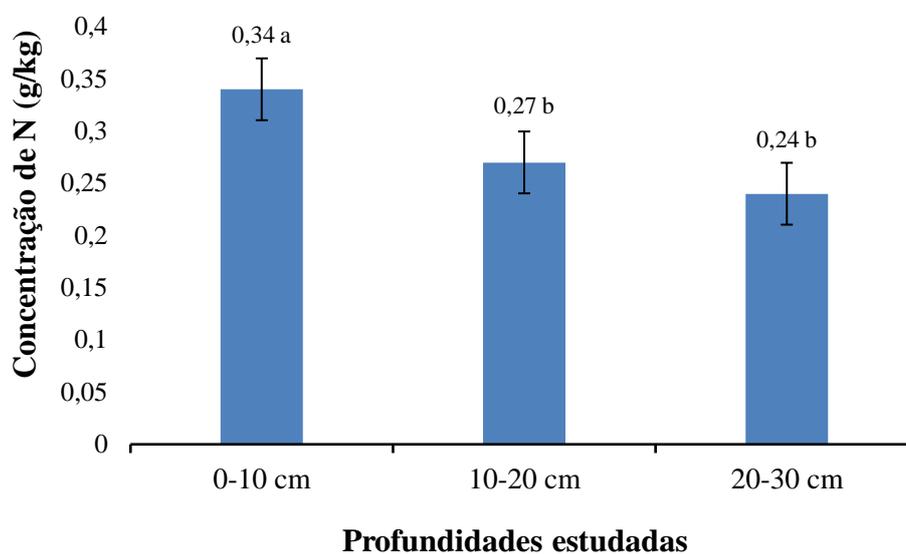
Em estudos realizados por Cherubin *et al.* (2015), os teores de N não sofreram alterações significativas entre os manejos do solo. Porém, alguns trabalhos de longa duração apontaram diferenças para esse elemento entre os sistemas de manejo, onde ocorreram maiores acúmulos de N no sistema de plantio direto por causa das aplicações de fertilizantes superficiais e a decomposição de resíduos vegetais na superfície do solo (FALLEIRO *et al.*, 2003; SANTOS; TOMM, 2003). É importante salientar que as diferenças observadas entre os resultados podem ser devidas ao nível de manejo adotado e a diversidade das condições edafoclimáticas do local em que o estudo foi realizado.

Nas profundidades, os maiores teores de N foram observados na de 0-10 cm (0,34 g/kg), enquanto a as demais apresentaram 0,27 e 0,24 g/kg, de 10-20 e 20-30 respectivamente (Figura 7). Resultados semelhantes foram apresentados por Cherubin *et al.* (2015), onde observou-se que os teores de nitrogênio decresceram da camada superficial (0-10 cm) para a subsuperficial (10-20 cm).

Estudando os teores de nitrogênio total em diferentes profundidades de um Latossolo cultivado com cafeeiro Rangel *et al.* (2008) observaram que o aumento dos teores de N seja devido a uma menor taxa de decomposição MO, tal suposição se justifica pelo fato do

manejo do solo ser bastante conservacionista caracterizando-se pelo pouco revolvimento do solo e pela permanência de restos culturais.

**Figura 7** - Teores de nitrogênio (g/kg) em função das profundidades



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

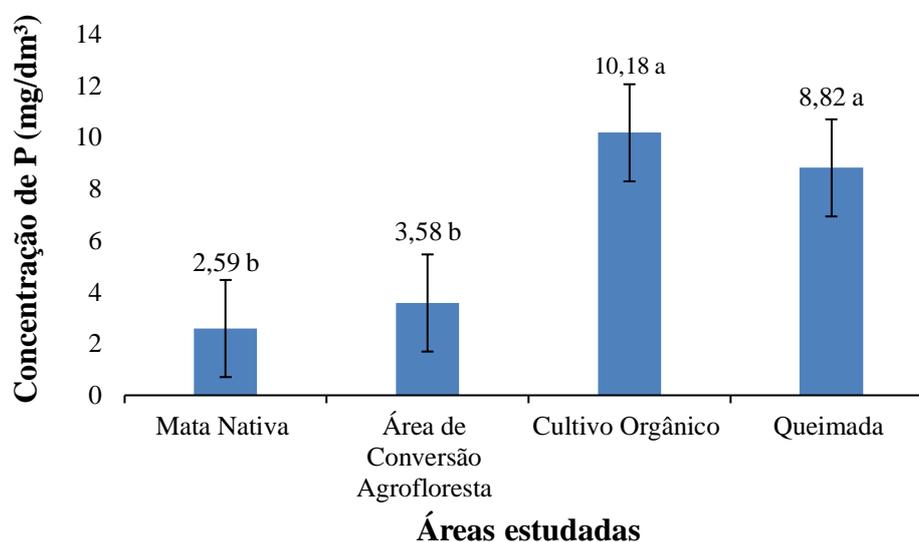
Rocha *et al.* (2016) observaram diferenças significativas no estoque total de nitrogênio do solo. Sendo que esse estoque na camada de 0-10 cm foi 13% superior ao das camadas inferiores. De acordo com Rangel e Silva (2007), o estoque de nitrogênio do solo são principalmente controlados por condições climáticas e de cobertura vegetal, e a introdução de novas espécies com grande capacidade de produção de biomassa pode beneficiar o armazenamento de nitrogênio no solo, particularmente nas camadas superiores do solo que estão mais expostas ao clima e as práticas de manejo agrícola.

### 6.3 Fósforo (P)

Na figura 8, observam-se diferenças significativas quanto aos teores do elemento fósforo nos sistemas em estudo. Os dados mostram que nos sistemas de cultivo orgânico e de queimada, os teores foram de 10,18 e 8,82 mg/dm<sup>3</sup>, respectivamente. Esses resultados vão de encontro aos de Signor *et al.* (2016) que estudando os atributos químicos e a qualidade da

matéria orgânica em sistema de cana de açúcar com e sem queima, evidenciou maiores teores de P disponível nas áreas sem queima.

**Figura 8** - Teores de fósforo ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) em função dos sistemas



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Avaliando os atributos químicos do solo em diferentes áreas de manejo, Lourente *et al.* (2011) observaram teores de fósforo maiores na área de plantio convencional quando comparado ao sistema de plantio direto. Possivelmente, essa grande quantidade de P encontrada nesse tipo de manejo está relacionada a aplicação de adubos orgânicos para fins de fertilidade do solo.

Segundo Redin *et al.* (2011) há um aumento nos teores de P mineralizados imediatamente após a passagem do fogo. Isso deve-se em função das cinzas possuírem alta concentração desse nutriente. Como as plantas somente absorvem nutrientes mineralizados, é natural que elas cresçam mais rapidamente em áreas queimadas.

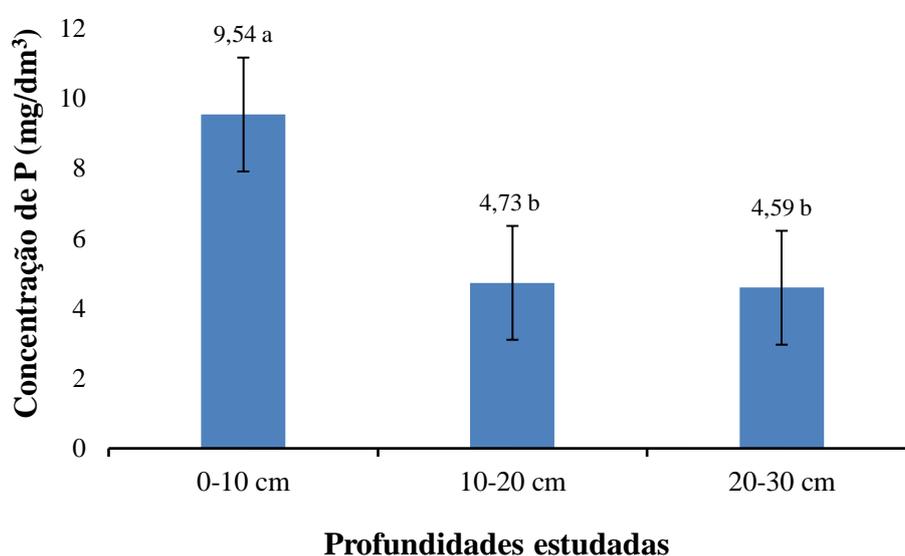
Vale ressaltar, que o teor de P encontrado na área de queimada foi superior quando comparado com as demais áreas. Resultado similar foi observado por Faria *et al.* (2011) que observaram teores de P três vezes maiores do que na testemunha, quando o solo foi manejado pelo processo de queima.

Entre as profundidades analisadas, observa-se na figura 9 que os teores de P do solo, de 0-10 cm, apresentaram valores maiores nesta variável,  $9,54 \text{ mg}/\text{dm}^3$ . Sobre tal resultado, pode se inferir que na profundidade de 0-10 cm, está relacionado com a forma de manejo

adotada nesses sistemas. Silva *et al.* (2015) também chegaram a esse resultado. Houve diferença entre as profundidades, tendo a de 0-10 cm apresentado teores maiores em relação a profundidade de 10-20 cm, a qual apresentou valores médios entre as áreas estudadas de 9,2 mg/dm<sup>3</sup> para a camada de 0-10 e 5,7 mg/dm<sup>3</sup> para a camada 10-20 cm.

Esse efeito está de acordo com Silva *et al.* (2013) que relata que essa redução do nutriente P em profundidade, provavelmente, devido ausência de práticas de manejo que favoreçam a manutenção e/ou melhoria da fertilidade do solo, como adição de matéria orgânica e a reposição de nutrientes perdidos pela erosão e lixiviação.

Na figura 9 - Teores de fósforo (mg/dm<sup>3</sup>) em função das profundidades



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

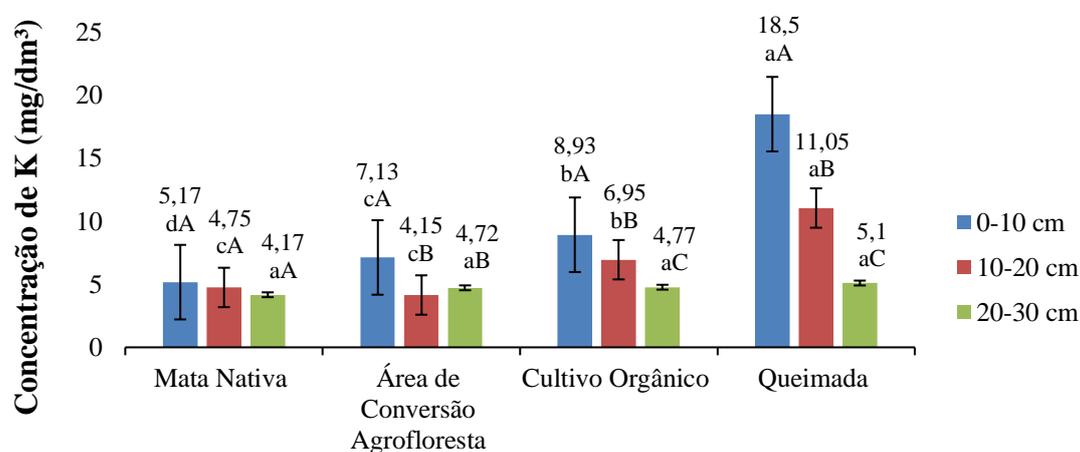
#### 6.4 Potássio (K)

Os valores médios dos teores de potássio nos sistemas de manejo em função da profundidade, encontram-se expressos na figura 10. Observa-se que entre os sistemas estudados, a maior média observada foi no sistema manejado com queimada na profundidade de 0 – 10 cm, 18,50 mg/dm<sup>3</sup> de K. Corroborando com os resultados apresentados por Matos *et al.* (2012) que, estudando os teores de nutrientes do solo sob sistema agroflorestal manejado com e sem queima no estado do Pará, constataram diferenças significativas entre as áreas com queima e sem queima, sendo que a maior concentração foi encontrada na área de SAF onde ocorre a derrubada e a queima da vegetação.

De acordo com os resultados obtidos por Sousa Neto *et al.* (2017) que, estudando os atributos químicos em área agrícola tradicional e em caatinga manejada em diferentes profundidades em um Cambissolo, constataram a sensibilidade de K em sofrer alterações no solo em relação ao sistema de manejo adotado. Sistema esse, manejado de forma convencional, com queimada, aração e gradagem. Os autores ainda afirmam que os maiores valores de K foram encontrados nos primeiros 10 cm de profundidade. Marinho *et al.* (2016) também constataram alterações do nutriente K nas áreas estudadas, além do P, Ca e da MOS.

Observa-se na figura 10 que os teores de K decresceram em todas os sistemas estudados em função da profundidade. Evidenciado por Dick *et al.* (2008) que, estudando os impactos da queima sobre os atributos químicos do solo, os teores de K foram baixos e muitos baixos em profundidade, quando comparados aos valores do elemento na camada superficial. Os autores ainda ressaltam que as perdas de K podem estar associadas as cinzas resultantes da queima, que são carregadas pelo escoamento superficial e por lixiviação. Além disso, Signor *et al.* (2016) afirmam que os teores de K trocável diminuíram em profundidade, exceto na área com apenas 6 nos sem queima.

**Figura 10** – Teores de potássio ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) nos sistemas de manejo em função das profundidades



#### Interação entre os fatores sistema de manejo x profundidade

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente. Pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Lorenzon *et al.* (2014) relacionam esses resultados com o fato desse elemento ser bastante móvel no solo. Nesse sentido, é possível que tenha sido lixiviado ou mesmo escoados superficialmente, pela água da chuva evidenciada dias antes da coleta.

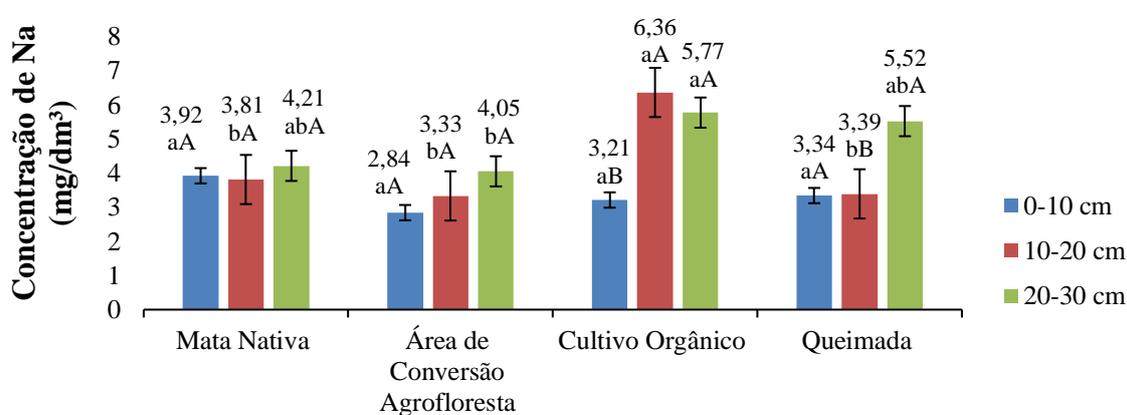
## 6.5 Sódio (Na)

Na figura 11 observam-se os valores médios dos teores de Na para a interação entre os sistemas estudados e as profundidades de coleta. A maior média observada foi no sistema de cultivo orgânico (6,36 mg/dm<sup>3</sup>) na profundidade de 10 – 20 cm. Na área de cultivo convencional, houve diferença significativa nos teores de Na nas profundidades estudadas, de 0-10 (3,21 mg/dm<sup>3</sup>) e 10-20 (6,36 mg/dm<sup>3</sup>); já na área queimada, houve diferença significativa nas profundidades de 10-20 (3,39 mg/dm<sup>3</sup>) e 20-30 (5,52 mg/dm<sup>3</sup>). Nos demais sistemas, conversão agroflorestal e mata nativa, não houve diferença significativa, mas observou-se uma maior quantidade do nutriente em profundidade (10-20 e 20-30 cm).

Apesar de ter havido diferenças estatísticas significantes em termos de profundidade (Figura 6), quando o elemento é analisado isoladamente, em termos de PST (Percentagem de Sódio trocável) não foi evidenciado mudanças relevantes. Os valores médios da PST para todos as áreas nas profundidades avaliadas foram baixos, não excedendo 1,0 %. De acordo com critérios usados por Amorim *et al.* (2010) e EMPRABA (2006) os solos foram enquadrados como não-sódicos.

Por sua vez, os problemas de sais induzidos ou provocados pela ação antrópica, decorrem do manejo inadequado da irrigação praticado nessas áreas, em que inexitem sistemas de drenagem natural e/ou que estejam sendo implementados, bem como podem ser ocasionados pelo tipo de solo onde os processos de lixiviação podem fazer com que os sais se acumulem em camadas mais profundas (AMORIM *et al.*, 2010).

**Figura 11** – Teores de sódio (mg/dm<sup>3</sup>) nos sistemas de manejo em função das profundidades



### Interação entre os fatores sistema de manejo x profundidade

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente. Pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

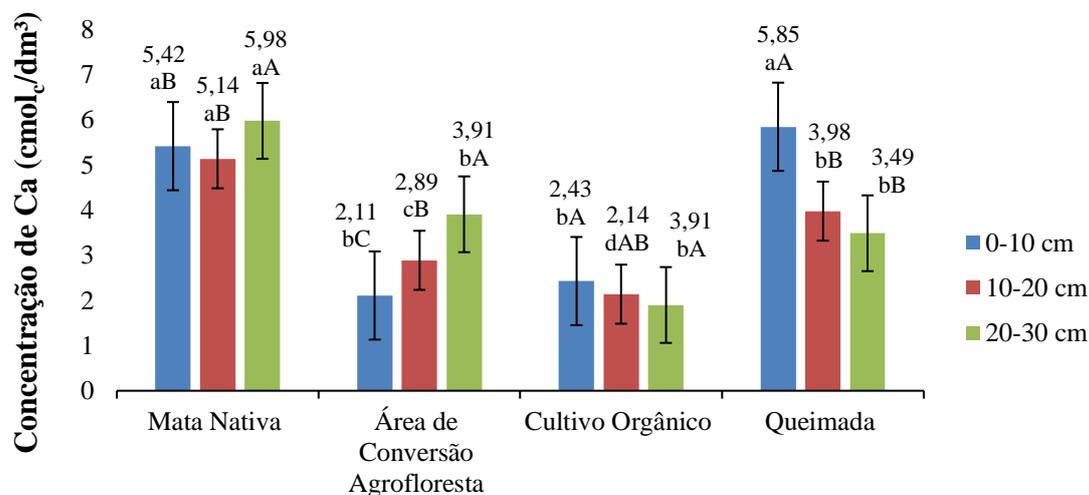
## 6.6 Cálcio (Ca)

De acordo com a figura 12, os valores médios da interação sistema de manejo em função da profundidade apresentaram maior concentração de Ca na área de mata nativa (5,98  $\text{Cmol}/\text{dm}^3$ ) na profundidade de 20-30 cm. Observa-se um decréscimo dos teores do nutriente em todas as profundidades, nas áreas de cultivo convencional e queimada. No sistema conversão agrofloresta ocorreu comportamento contrário, com o aumento do teor de Ca em profundidade. Silva Junior *et al.* (2012) estudando os atributos químicos do solo sob conversão da floresta Amazônica, observa-se nas camadas mais profundas uma maior concentração do elemento, podendo ser atribuída à prática da calagem, com interferência do comportamento do Ca no solo, visto que este elemento químico possui pouca mobilidade.

Lourente *et al.* (2011) estudando os sistemas de preparo do solo, observaram-se que o solo sob o sistema orgânico de manejo, em relação ao plantio direto, apresentou médias estatisticamente menores, para a variável Ca. Já os solos sob vegetação nativa e conversão agrofloresta apresentaram fertilidade adequada quanto aos teores de Ca.

Por outro lado, Loro *et al.* (2016) afirmam que os teores de Ca foram significativamente reduzidos pela conversão da vegetação nativa por cultivo agrícola, produção de forragem e pastagem. Siqueira Neto *et al.* (2009) explicam que os menores teores de Ca observados em tais sistemas, provavelmente estejam relacionados à imobilização deste elemento na biomassa aérea da planta.

Teores de Ca em elevadas concentrações foram encontrados no sistema de queimada (5,42  $\text{cmol}/\text{dm}^3$ ), na profundidade de 0-10 cm (Figura 11). Corroborando com os resultados apresentados por Simon *et al.* (2016) que, estudando os efeitos da queima de resíduos do solo sob atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico, constataram uma maior presença do Ca no solo manejado com queimada. O fogo proporciona a liberação de uma grande quantidade de nutrientes para o solo, a exemplo do cálcio. Esse elemento é encontrado em grandes proporções em vegetais, assim, a queima desses, acaba disponibilizando elevada quantidade desse mineral para o solo (FREITAS; SANT' ANNA 2004).

**Figura 12** – Teores de cálcio ( $\text{cmol}/\text{dm}^3$ ) nos sistemas de manejo em função das profundidades

### Interação entre os fatores sistema de manejo x profundidade

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente. Pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

## 6.7 Magnésio (Mg)

Na figura 13, referente aos dados dos teores de Mg, nas três condições de coleta e nos quatro sistemas de manejo, pode se observar que a maior quantidade do nutriente foi encontrada no sistema conversão agrofloresta ( $4,27 \text{ cmol}/\text{dm}^3$ ) e na profundidade de 20-30 cm. As demais áreas nas diferentes profundidades não apresentaram resultados significativos em relação aos teores de Mg. Lima *et al.* (2011) que, estudando os atributos químicos em sistema agroflorestal, constataram o maior valor de Mg na área de sistema agroflorestal com 6 anos de adoção e o menor valor foi na área de agricultura de corte e queima. Esses resultados corroboram com os do presente estudo.

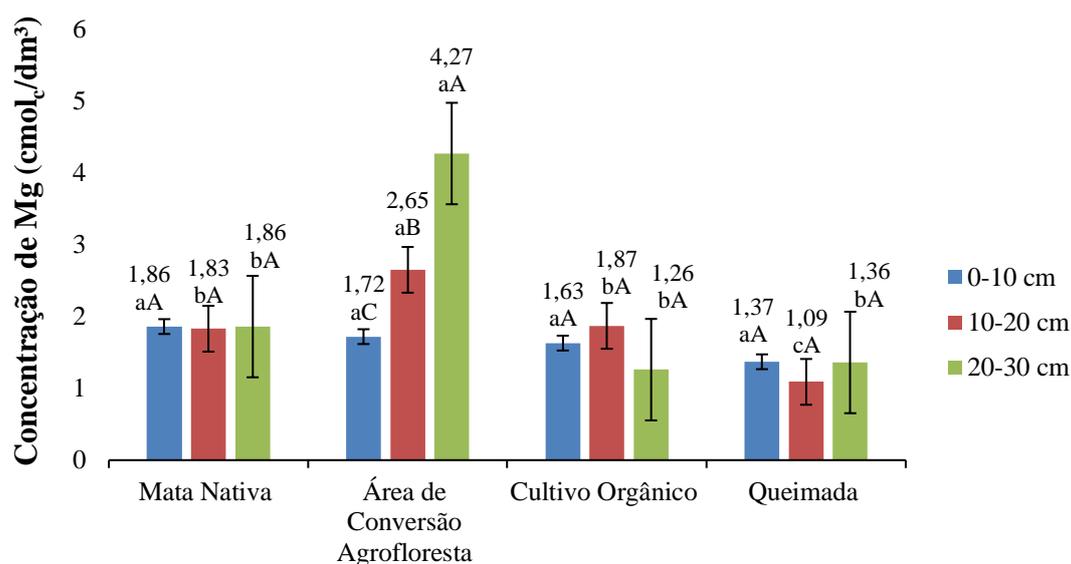
Perez *et al.* (2004) obtiveram valores semelhantes aos observados neste estudo, em relação ao teor de Mg em sistema agroflorestal, comparativamente ao sistema convencional submetido a queima, em Latossolo Vermelho-Amarelo no Estado de Minas Gerais. Os menores teores de Mg sob o solo de agricultura com corte e queima, podem estar associados a esse tipo manejo, que resulta em menores teores desse elemento na camada superficial do solo (JACQUES, 2003).

As maiores perdas de Mg foram identificadas no sistema de queimada e cultivo orgânico, onde os teores foram menores também em profundidade (Figura 7). Lira (2016)

menciona que esse resultado pode ser um indicativo de que ocorreu lixiviação desse elemento. A grande movimentação do magnésio se dá pela menor força de adsorção por apresentar maior raio iônico hidratado, e como consequência apresentar movimentação mais intensa.

Em trabalho realizado por Lima *et al.* (2011) avaliando mudanças nas características químicas de um Argissolo Vermelo-Amarelo sob adoção de vários sistemas no estado do Piauí, obtiveram maiores valores de Mg na área de floresta nativa e o menor valor foi verificado no sistema de derrubada e queimada. Lira (2016) estudando os atributos químicos e mineralógicos em solo sob monocultivo de uva Isabel, compactam com os resultados dessa pesquisa, onde as maiores concentrações de Mg foram encontradas em profundidade.

**Figura 13** – Teores de magnésio ( $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ ) nos sistemas de manejo em função das profundidades



#### Interação entre os fatores sistema de manejo x profundidade

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente. Pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

## 6.8 Análise de variância para as variáveis: Potencial hidrogeniônico (pH), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al), condutividade elétrica (CE) e carbono orgânico total (COT)

Verifica-se na tabela 2 que houve interação significativa ao nível de 1% de significância para as seguintes variáveis químicas: pH, Al e CE. Já para as variáveis acidez potencial e COT houve efeito isolado para o tipo de sistema e a profundidade ao nível de significância de 1% de probabilidade.

**Tabela 2** - Resumo da análise de variância para as variáveis: Potencial hidrogeniônico (pH), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al), condutividade elétrica (CE) e carbono orgânico total (COT).

FV	GL	Quadrados Médios				
		pH	Acidez potencial	Al	CE	COT
Área	3	0,75**	5,84**	1,96**	0,22**	182,93**
Profundidade	2	0,40**	0,27 <sup>ns</sup>	0,23**	0,21**	108,64**
A x P	6	0,43**	0,14 <sup>ns</sup>	0,13**	0,03*	4,56 <sup>ns</sup>
Tratamentos	11	0,51**	1,72**	0,65**	0,12**	72,13**
Resíduo	48	0,07	0,12	0,02	0,01	2,76
CV%		4,75	18,31	42,46	26,52	10,76
Total	59					

FV: Fontes de variação; GL: Graus de liberdade; CV%: Coeficiente de variação; (\*\*) significativo ao nível de 1% de probabilidade; (\*) significativo ao nível de 5% de probabilidade; (<sup>ns</sup>) não significativo.

## 6.9 Potencial hidrogeniônico (pH)

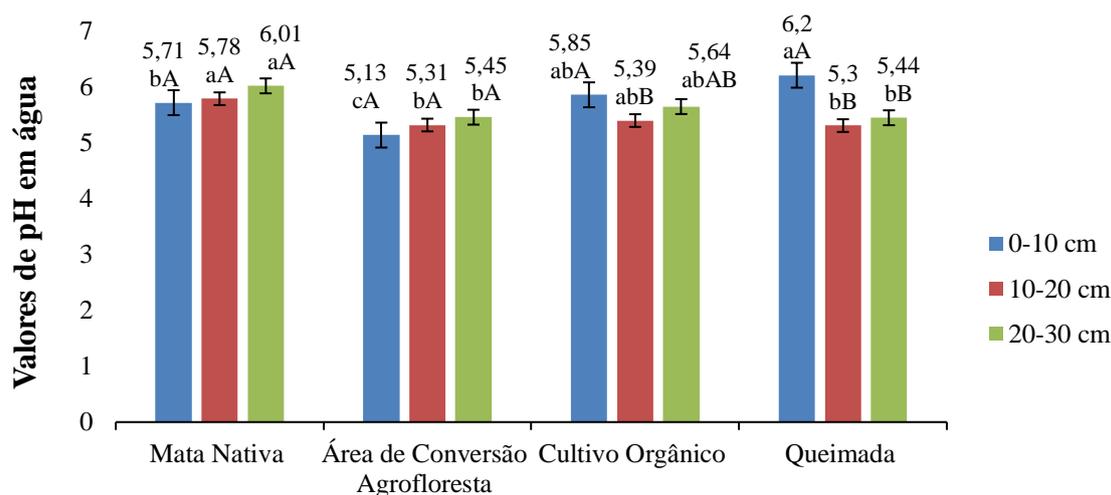
Os valores de pH do solo apresentaram uma variação significativa entre os sistemas de manejo do solo em cultivo orgânico e na de queimada em ambas as profundidades (Figura 14). Os maiores valores foram encontrados na área de queimada e ficaram entre 6,2, 5,3 e 5,4 nas profundidades estudadas, diferindo significativamente dos demais sistemas avaliados. Na

área de cultivo orgânico, apresentaram valores entre 5,85, 5,39 e 5,64 nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, respectivamente, onde diferiu quando comparado com as demais áreas. Segundo Lorenzon *et al.* (2014), alterações significativas no pH de solos em áreas que sofreram a ação do fogo nem sempre são evidenciadas, porque a elevação desse parâmetro pela queima é dependente de fatores, como a quantidade e a composição de cinzas geradas e das características do solo.

Pereira *et al.* (2009), estudando os impactos dos sistemas de manejo nos atributos químicos do solo, obtiveram resultados similares ao do presente estudo, observaram maiores valores de pH na camada superficial do solo, decrescendo com a profundidade, na área de manejo convencional. Os autores afirmam que este fenômeno está relacionado às características tamponantes da MO e/ou ao aumento da força iônica da solução do solo, pelo incremento dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^{+}$  na camada superficial.

O menor valor do pH do solo foi observado na área de conversão agrofloresta ( $p \leq 0,01$ ), no valor de 5,13 na profundidade de 0-10 cm. Cherubim *et al.* (2015) que, estudando os indicadores da qualidade do solo sob diferentes sistemas de manejo, apresentaram resultados semelhantes ao desse estudo, que evidenciaram valores de pH inferiores, ou seja, tendência de acidificação na camada de 0-10 cm em todos os manejos.

**Figura 14** – Valores do pH nos sistemas de manejo em função das profundidades



#### Interação entre os fatores sistema de manejo x profundidade

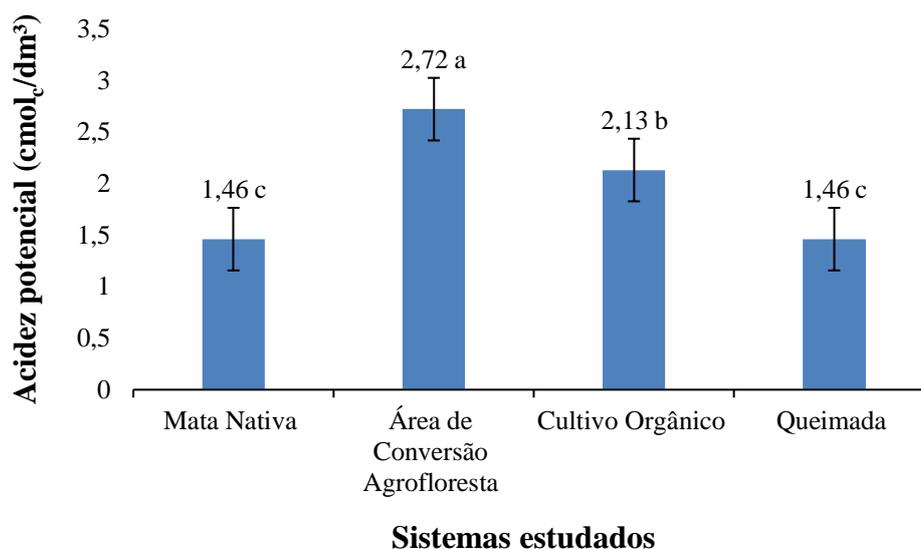
Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente. Pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

### 6.10 Acidez potencial (H+Al)

Quanto a acidez potencial (H+Al) do solo, pode-se observar que ocorreu diferença significativa quanto os sistemas de manejo ( $p < 0,01$ ), onde o sistema de conversão agrofloresta ( $2,72 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ ) apresentou valores médios superiores, isso quando comparado aos sistemas de mata nativa ( $1,46 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ ), cultivo orgânico ( $1,40 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ ) e queimada ( $2,13 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ ) (Figura 15).

A área sob cultivo orgânico apresentou os menores teores de H+Al, resultado semelhante ao encontrado por Silva Neto *et al.* (2011) que em área de cultivo agrícola, pastagem e solo nu, também apresentaram baixos teores de H+Al. Os autores justificam essa menor acidez do solo, devido a realização de correções sistemáticas do solo, com calagens sucessivas.

**Figura 15** – Acidez do solo ( $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ ) em função dos sistemas



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os maiores teores de H+Al foram encontrados no sistema de conversão agrofloresta, resultados semelhantes encontrados por Barreto *et al.* (2006) que identificaram que os solos com maior aporte de material vegetal geralmente são mais ácidos, uma vez que a mineralização da matéria orgânica e os exsudatos ácidos liberados pelas raízes das plantas contribuem para aumentar a acidez do solo.

Simon *et al.* (2016), estudando os efeitos da queima de resíduos do solo sob os atributos químicos, encontraram uma maior acidez do solo no sistema de manejo com queima

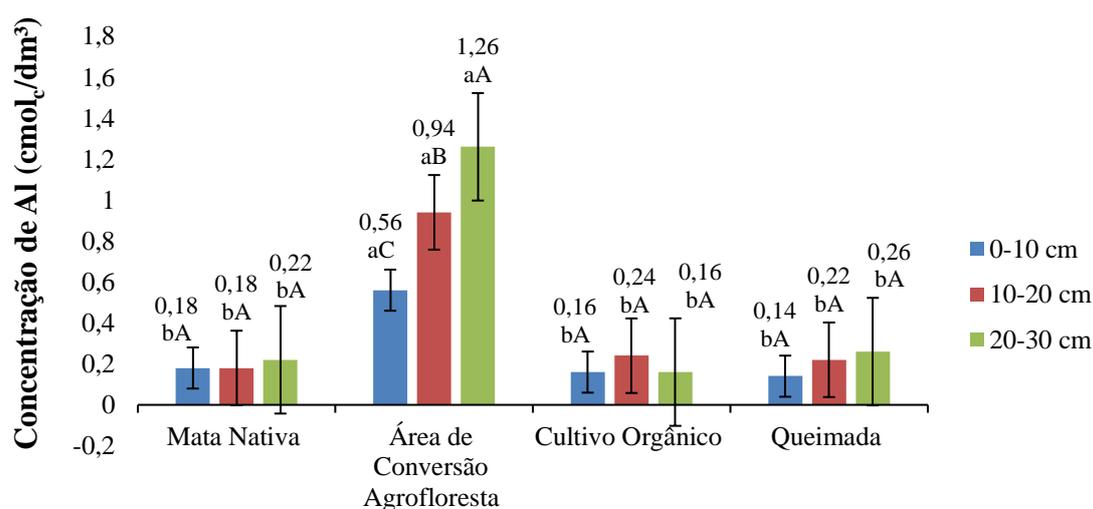
e revolvimento, corroborando com os resultados dessa pesquisa. Os resultados de Batista *et al.* (2013), mostram que os valores de H+Al foram menores nas áreas não queimadas, confirmando os dados do presente estudo.

Resultados semelhantes foram apresentados por Matos *et al.* (2012), ao avaliarem os teores de nutrientes do solo sob sistema agroflorestal com e sem queima, com maior concentração de H+Al, na área com sistema agroflorestal com queima. Os autores atribuíram o resultado pelo efeito fertilizador dos óxidos presentes nas cinzas.

### 6.11 Alumínio (Al)

Os teores de Al do solo apresentaram diferença significativa ( $p < 0,01$ ) quanto ao sistema de manejo e a profundidade. A Figura 16 apresenta as interações de Al entre as duas variáveis estudadas. Apenas na área de conversão agrofloresta as médias diferiram significativamente em relação as profundidades. De acordo com Sousa *et al.* (2007) o Al é totalmente precipitado quando o pH do solo atinge valores em torno de 5,5 (pH em água). Esta afirmação corrobora com os valores encontrados em todas as áreas, justificados pelo incremento do pH nessas áreas (Figura 15).

**Figura 16** - Teores de alumínio ( $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ ) nos sistemas de manejo em função das profundidades



#### Interação entre os fatores sistema de manejo x profundidade

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente. Pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

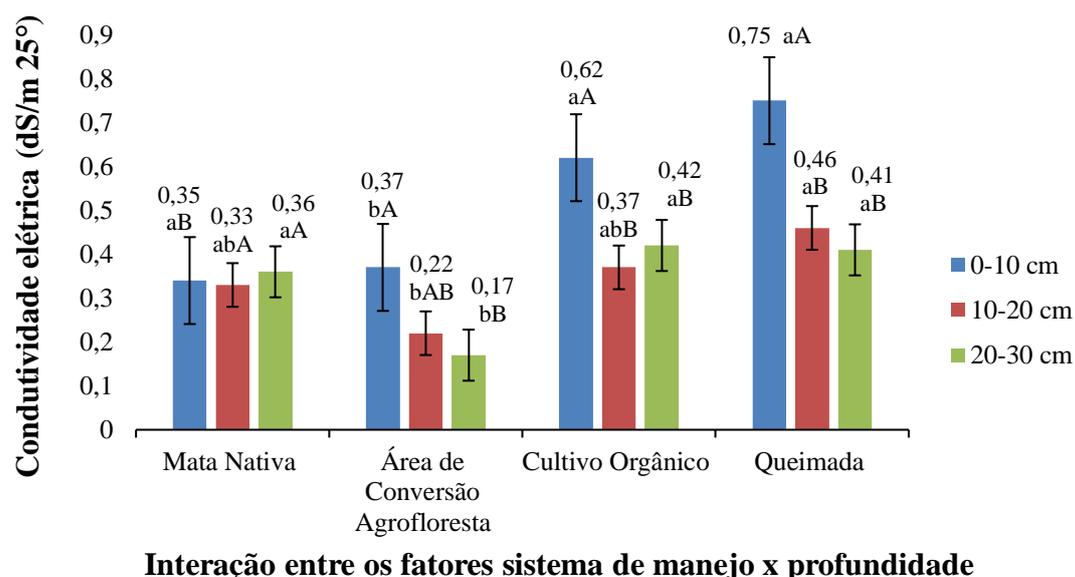
Rodrigues *et al.* (2017), estudando alterações nos atributos químicos do solo pelo uso e manejo em latossolo na Amazônia, evidenciaram um aumento do alumínio com a profundidade, com exceção do sistema de preparo convencional, que apresentou conteúdo uniforme ao longo do perfil do solo.

Dick *et al.* (2008) e Lorenzon *et al.* (2014) relatam em seus estudos que as atividades de manejo do solo associada ao fogo diminuem as concentrações de alumínio e ocorre o aumento de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas. Associado ao aumento do pH, que geralmente diminui a solubilidade do alumínio tóxico no solo, enquanto a matéria orgânica causa a complexação deste elemento (FALLEIRO *et al.*, 2003).

## 6.12 Condutividade elétrica (CE)

Na figura 17, observaram-se que os sistemas de cultivo orgânico e queimada apresentaram valores superiores de CEes em relação aos sistemas de conversão agrofloresta e mata nativa. Os valores de CEes encontrados nas áreas não alcançaram o limite de 4 dS/m, que classifica os solos como salinos (Richards, 1954). Para todos os casos, a CEes cresce em superfície, indicando acúmulo de sais por ascensão capilar, muito comum em sistemas irrigados em ambientes sob clima semiárido.

**Figura 17** – Condutividade elétrica (dS/m 25°) nos sistemas de manejo em função das profundidades



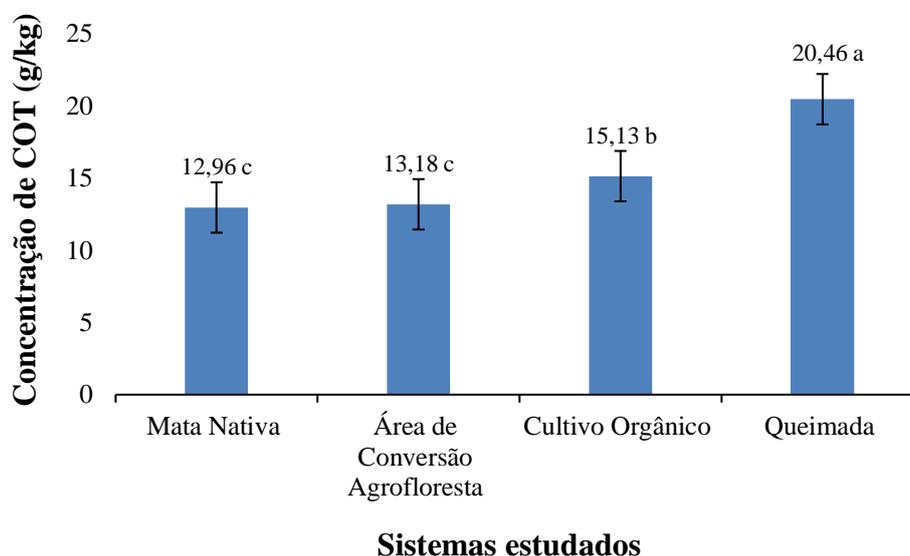
Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente. Pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Corrêa *et al.* (2009) que, estudando os atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco, apresentaram resultados semelhantes ao do presente estudo, na qual nas áreas de cultivo de ciclo curto, área descartada e pastagem apresentaram maiores valores de CEes em relação as áreas de fruticultura e mata nativa. Os autores ainda ressaltam que o manejo inadequado das terras e da irrigação é responsável pela redução do rendimento das culturas e pela degradação dos solos por salinização.

### 6.13 Carbono orgânico total (COT)

Quanto aos teores de COT (Figura 18) analisados nas áreas de estudo, observaram-se diferenças significativas em todos os sistemas, exceto entre a de conversão agrofloresta e queimada. Os sistemas de cultivo orgânico e mata nativa apresentaram os maiores teores de C, 15,13 e 20,46 g/kg, respectivamente. Nas profundidades, o estudo apresentou diferenças significativas, sendo encontrado os maiores valores de C na camada de 0-10 (17,91 g/kg) e decrescendo nas demais profundidades (Figura 19).

**Figura 18** – Teores de COT (g/kg) em função dos sistemas



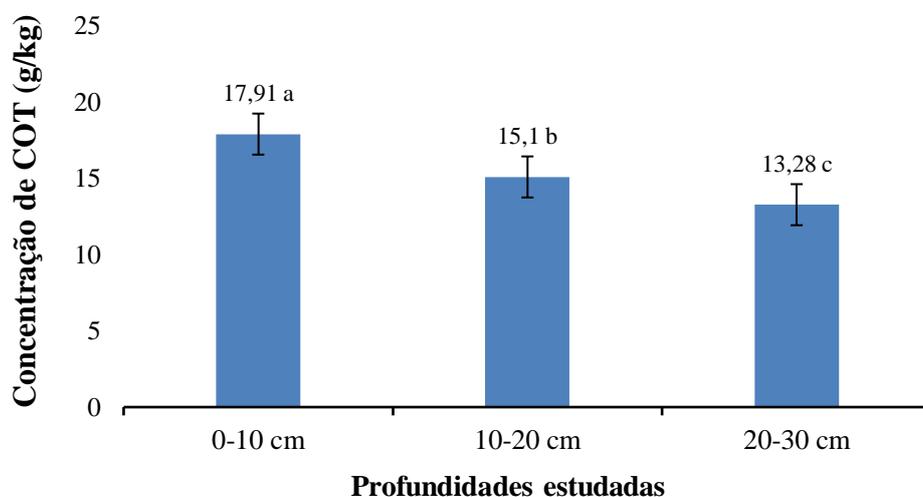
Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Signor *et al.* (2016) encontraram teores menores de C na camada superficial das áreas cultivadas quando comparada com a de mata nativa, com reduções de 21% (na área de 12 anos sem queima) a 48% (na área de 6 anos queimada). Os resultados corroboram com as

observações de Don *et al.* (2011). O baixo teor de carbono encontrado nos demais sistemas pode ser justificado pela baixa deposição dos resíduos, alta atividade microbiana e também pelo aumento da perda por erosão ou mineralização (EFFGEN *et al.*, 2012).

Em trabalho realizado por Cunha *et al.* (2012), o COT sob mata nativa foi maior do que no solo cultivado em razão, provavelmente, do grande aporte de resíduos orgânicos e vegetais, não revolvimento do solo e reduzida erosão hídrica pela maior cobertura do solo.

**Figura 19** – Teores de COT (g/kg) em função das profundidades



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Signor *et al.* (2016) ainda constataram que a área de cana-de-açúcar cultivada há 12 anos sem queima apresentaram maiores teores de C do que a área queimada, em todas as profundidades (0-10, 10-20 e 20-30 cm). Na área de 6 anos, isso ocorreu apenas na camada 0-10 cm, o que mostra o efeito do manejo da cana-de-açúcar sem queima como uma importante ferramenta para aumentar o conteúdo de C no solo, em consequência da deposição de palha sobre a superfície. Esses resultados se assemelham com os obtidos por Signor *et al.* (2014).

O teor de C do solo foi relativamente elevado nos três ambientes e em todas as profundidades avaliadas por Dick *et al.* (2008). Nas camadas inferiores, o acúmulo de C pode ser resultante de processos de translocação de MOS e sua sorção nos minerais, como também de decomposição de raízes (DALMOLIN *et al.*, 2006).

### 6.14 Análise de variância para as variáveis: Capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%), soma de bases (SB) e saturação por alumínio (m%)

Na tabela 3 verifica-se que houve interação significativa ao nível de 1% de significância para as seguintes variáveis químicas: CTC, V% e SB. Já para a variável m% houve efeito isolado para o tipo de sistema ao nível de significância de 1%.

**Tabela 3** - Resumo da análise de variância para as variáveis: Capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%), soma de bases (SB) e saturação por alumínio (m%).

FV	GL	Quadrados Médios			
		CTC	V%	SB	m%
Área	3	42,31**	726,14**	32,82**	386,44**
Profundidade	2	0,82 <sup>ns</sup>	50,84*	1,89*	13,98 <sup>ns</sup>
A x P	6	10,76**	174,07**	11,04**	3,27 <sup>ns</sup>
Tratamentos	11	17,56**	302,23**	15,32**	109,72**
Resíduo	48	0,60	11,86	0,38	6,00
CV%		10,22	4,66	10,82	39,95
Total	59				

FV: Fontes de variação; GL: Graus de liberdade; CV%: Coeficiente de variação; (\*\*) significativo ao nível de 1% de probabilidade; (\*) significativo ao nível de 5% de probabilidade; (<sup>ns</sup>) não significativo.

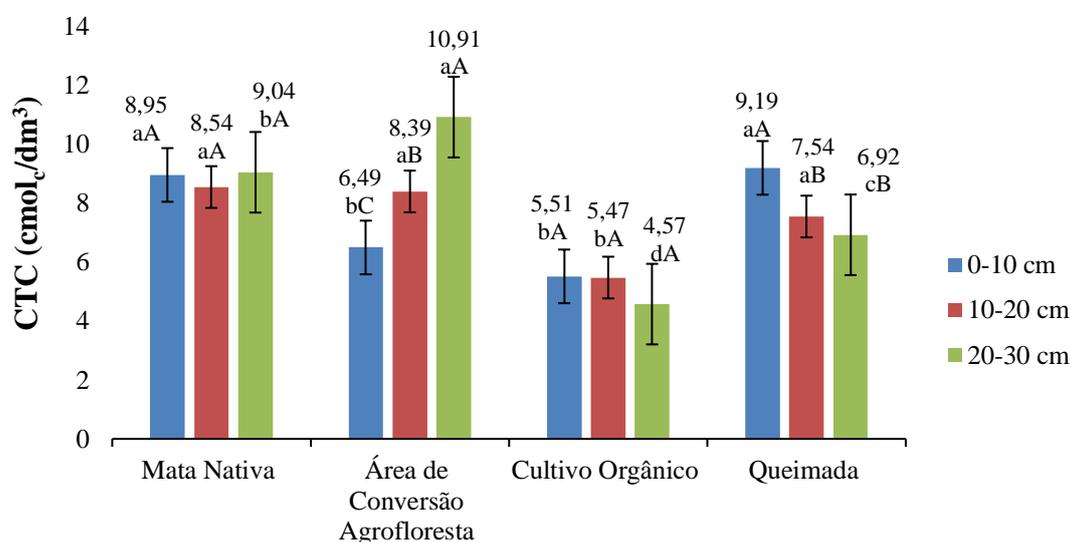
### 6.15 Capacidade de troca de cátions (CTC)

A capacidade de troca catiônica à pH 7 - CTC (T), ocorreu interação significativa ( $p < 0,01$ ) entre os fatores estudados (Figura 20). O maior valor observado ocorreu no sistema de conversão agrofloresta ( $10,91 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ ) na profundidade de 20-30 cm e o menor ( $4,57 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ ) correspondendo ao sistema de cultivo orgânico na profundidade de 20-30 cm. Estes altos valores da CTC em profundidade podem ser justificados por teores elevados de Ca e Mg. Lira (2016) encontrou as maiores concentrações de Mg em profundidade.

No sistema de queimada apresentaram os maiores valores para este atributo na profundidade de 0-10, e na de 10-20 cm os valores foram maiores nos sistemas de mata nativa

e conversão agrofloresta, diferindo estatisticamente das demais. Estes altos valores podem ser atribuídos aos elevados teores da matéria orgânica do solo, também observado por Silva *et al.* (2015) onde foram acompanhados de maiores valores de CTC. Do ponto de vista químico, o teor de matéria orgânica está estreitamente relacionado a CTC do solo (BILIBIO *et al.* 2010) apresentando, geralmente, maior participação no valor da CTC total (NOVAIS; MELLO, 2007). Os baixos teores de CTC do solo encontrados no sistema de cultivo orgânico e na de conversão agrofloresta na profundidade de 0-10 pode ser atribuído a alterações nos níveis de MO e de cátions trocáveis do solo, fato também observado por SOUZA *et al.* (2012).

**Figura 20** – Valores da CTC ( $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ ) nos sistemas de manejo em função das profundidades



#### Interação entre os fatores sistema de manejo x profundidade

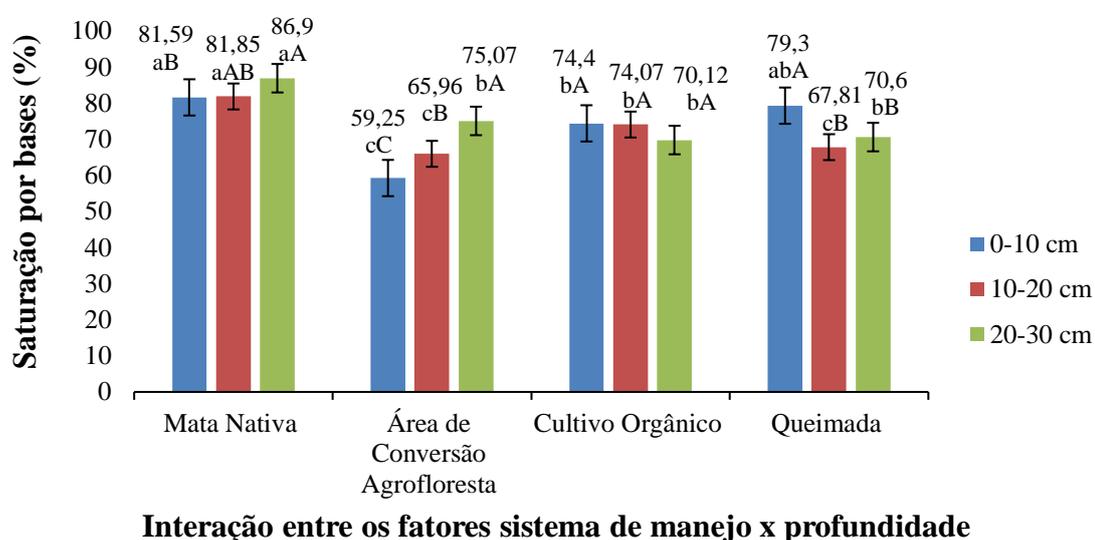
Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente. Pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os estudos de Pereira *et al.* (2009) verificaram que na profundidade de 10-20 cm os sistemas cultivo mínimo ( $9,23 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ ) e plantio direto ( $8,93 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ ) apresentaram os maiores valores de CTC. Simon *et al.* (2016) justificam que na camada superficial da área de queimada (0-10 cm), quando comparada com a mesma profundidade na mata nativa, houve os maiores valores de CTC. Esse resultado pode ser justificado, devido ao aumento da disponibilidade de bases trocáveis no solo, além da própria mineralização do material orgânico após a queima.

### 6.16 Saturação por bases (V%)

Avaliando a saturação por bases (V%), pode-se observar que a área sob mata nativa apresentou o maior resultado para essa variável na profundidade de 20-30 cm, 86,90 % (Figura 21). Os valores de V% obtidos neste estudo encontram-se acima do considerado ideal (70%) conforme relatado por RAIJ *et al.* (1997) exceto na área de reflorestamento, onde apresentou valores abaixo do ideal, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm.

**Figura 21** – Valores de V (%) nos sistemas de manejo em função das profundidades



Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente. Pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

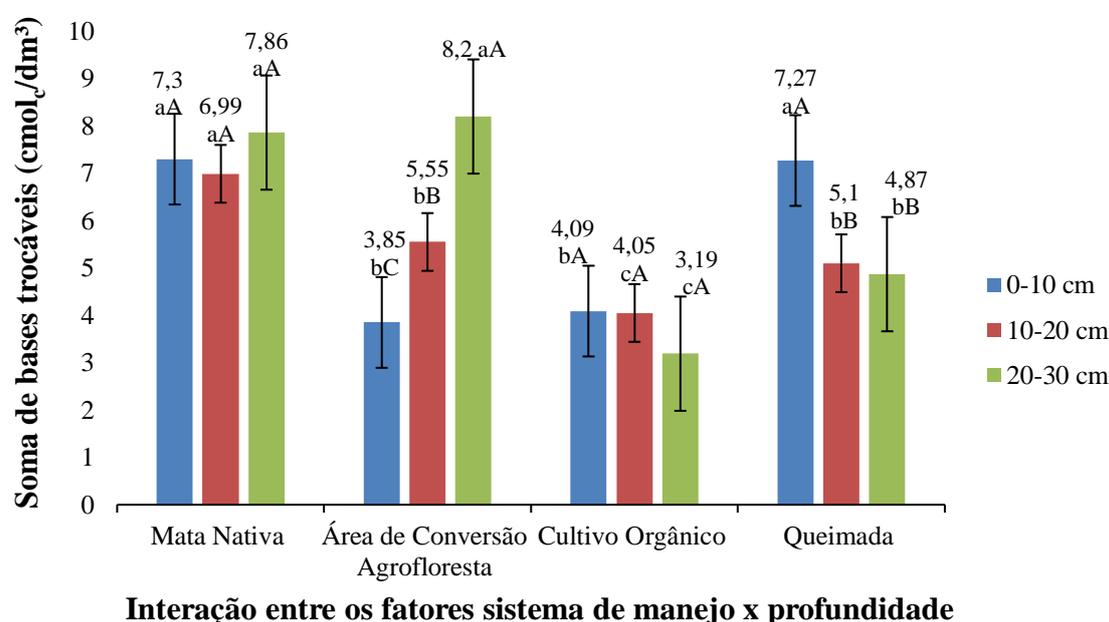
Esses altos valores na saturação por bases podem ser atribuídos aos bons níveis para o elemento cálcio e pela eficiência da ciclagem de nutrientes. Este resultado é corroborado pelo trabalho de Silva Junior *et al.* (2012) onde observaram que a aplicação do calcário proporcionou aumentos nos valores da soma de bases (SB), principalmente pelo cálcio adicionado. O Autor ainda justifica que menores valores encontrados podem estar relacionados aos valores elevados da CTC, que reduziram os valores de V%, onde os valores da CTC foram influenciados pela acidez potencial nestes solos, confirmado pelos valores de SB.

Lima *et al.* (2011) encontraram resultados contrários ao do presente estudo, quanto à saturação por bases (V%) em sistemas agrícolas apresentaram valores muito altos (> 90%), superiores aos da floresta nativa, que obteve valor médio (51 a 70%).

### 6.17 Soma de bases (SB)

Pode-se observar pela figura 22 quando analisado o atributo soma de bases (SB), que na área de mata nativa apresentaram os maiores valores, exceto na área de reflorestamento onde na profundidade de 20-30 cm apresentou SB de 8,2  $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ . Os valores de SB observados nos solos sob os sistemas avaliados indicam que a matéria orgânica existente ou o tempo de manejo foi suficiente para alterar a capacidade dos solos em reter cátions.

**Figura 22** – Valores de SB ( $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ ) nos sistemas de manejo em função das profundidades



Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente. Pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Silva *et al.* (2015) afirmam que o menor teor de cátions trocáveis no solo sob cultivo orgânico pode ser atribuído às perdas de nutrientes pouco retidos nos sítios de troca, em função principalmente dos menores teores de matéria orgânica. Por outro lado, os maiores valores obtidos para os teores desses nutrientes nos solos estão associados ao maior aporte de material orgânico incorporado.

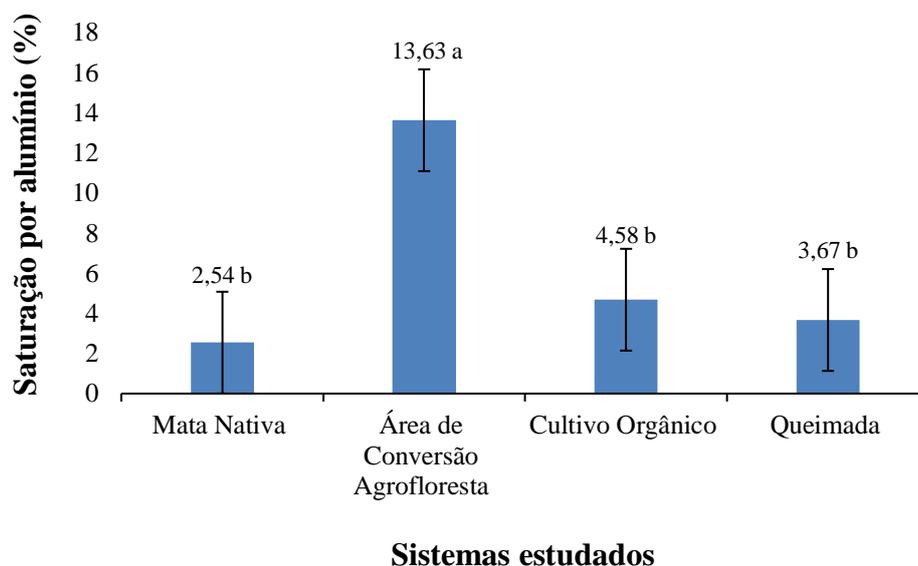
Niero *et al.* (2010), avaliando a sustentabilidade das práticas de manejo do solo, constataram menores valores de fertilidade do solo para o cultivo convencional em relação aos demais tipos de cultivo estudados. Lourente *et al.* (2011), estudando o efeito do uso e manejo sobre atributos químicos, tendo também como referência a mata nativa, constataram que dentre

os sistemas de manejo do solo estudados o sistema de cultivo orgânico com revolvimento do apresentou valores de fertilidade do solo estatisticamente menores.

### 6.18 Saturação por alumínio (m%)

Quanto a saturação por Alumínio (m%), a área de conversão agrofloresta deferiu significativamente de todas as demais, porem nos sistemas de cultivo orgânico, queimada e mata nativa não deferiram entre si, apresentando os menores valores para este atributo (Figura 23).

**Figura 23** – Teores de m (%) em função dos sistemas



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A saturação por Al (m%) em todos os solos foi considerada como baixa, pois seus valores estão abaixo 20%, segundo Sousa e Lobato (2004). A presença do Al reduz o crescimento e o desenvolvimento das raízes e diminui a absorção de nutrientes, podendo prejudicar seu desenvolvimento. Áreas com queimadas possuem alta saturação por bases, menor capacidade de troca catiônica e saturação por Al (SILVA; BATALHA 2008), informações que corroboram com os resultados da presente pesquisa.

Em seus estudos sobre sistemas de manejo do solo Simon *et al.* (2016) apresentaram maiores valores de saturação por Al (m%), no sistema de manejo com queima e revolvimento

do solo, porém os sistemas com queima e não revolvimento e sem queima e sem revolvimento apresentaram os menores valores para este atributo.

## 7 CONCLUSÃO

Houve aumento na disponibilidade de nutrientes no sistema com queima, principalmente na camada superficial do solo, com exceção do Mg.

Em decorrência da disponibilidade de bases trocáveis nas profundidades de solo estudadas, houve elevação do pH, com conseqüente diminuição do teor de  $Al^{3+}$ , no sistema com queima.

O maior aporte de carbono orgânico total do solo foi encontrado na área de mata nativa, demonstrando que a adoção de determinados sistemas de manejo do solo podem alterar as quantidades do elemento no solo.

As áreas estudadas apresentaram valores esperados de acidez, corroborados, pelos valores de pH observados.

Os maiores valores de CTC, V% e SB foram encontrados no sistema de manejo com queima e na mata nativa, sendo superior ao de cultivo orgânico.

## REFERÊNCIAS

- ALAZARD, M. et al. Estimating evaporation in semi-arid areas facing data scarcity: Example of the El Haouareb dam (Merguellil catchment, Central Tunisia). **Jornal of Hidrology: Regional Studies**, v. 3, p. 265-284, 2015.
- ALBUQUERQUE, A. W. et al. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 136-141, 2002.
- ALBUQUERQUE, A. W. et al. Efeito do desmatamento da Caatinga sobre as perdas de solo e água de um Luvisolo em Sumé (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 10-17, 2001.
- AMORIM, J. R. A. et al. **Espacialização da Porcentagem de Sódio Trocável do Solo no Perímetro Irrigado Califórnia, em Canindé de São Francisco, Sergipe**. – Aracaju. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2010. 17 p. (Boletim de Pesquisa / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 61). Disponível em < [http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes\\_2010/bp\\_61.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2010/bp_61.pdf) > acesso em 03 de Jan. de 2017.
- AQUINO, A. B. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 1993. 248 p.
- ARAGÃO, D. V. et al. Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de recuperação do solo no Nordeste Paraense. **Acta Amazônica**, v. 42, p. 11-18, 2012.
- ARAÚJO FILHO, J. A.; CARVALHO, F. C. **Desenvolvimento sustentado da caatinga**. Sobral: Embrapa - Caprinos, 1997, 19p. (Embrapa - Caprinos, circular técnica, 13).
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Biosci. J.** Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.
- BARRETO, A. C. et al. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Caatinga**, v. 19, n. 4, p. 415-425, 2006.
- BATISTA, A. C. et al. Efeitos da queima controlada sobre algumas propriedades químicas do solo de *Pinus taeda* nos municípios de Sengés-SP. **Revista Floresta**, v. 27, n. 12, p. 59-70, 2013.
- BEUTLER, A. N. et al. Impacto do tráfego de máquinas na qualidade física do solo e produtividade de milho em Argissolo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, p. 359-364, 2009.
- BILIBIO, W. D. et al. Atributos físicos e químicos de um Latossolo, sob diferentes sistemas de cultivo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 817-822, 2010.

- CERRI, C. C.; MORAES, J. F. L. Consequências do uso e manejo do solo no teor de matéria orgânica. In: **ENCONTRO SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO**, Botucatu, 1992. Anais. Botucatu, Universidade Estadual de São Paulo, 1992. p.26-36.
- CHERUBIN, M. R. et al. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 615-625, 2015.
- CORRÊA, R. M. et al. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 305-314, 2009.
- COUTINHO, L. M. O cerrado e a ecologia do fogo. **Ciência Hoje**, Brasília, v. 12, n. 68, p. 22-30, 1990.
- CUNHA, E. Q. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 56-63, 2012.
- DALMOLIN, R. S. D. et al. Organic matter characteristics and distribution in Ferralsol profiles of aclimosequence in Southern Brazil. **European Journal of Soil Science**, v. 57, p. 644-654, 2006.
- DEFILIPO, B. V.; RIBEIRO, A. C. **Análise química do solo** – metodologia. 2.ed. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 26p.
- DICK, D. P. et al. Impacto da queima nos atributos químicos do solo, na composição da matéria orgânica e na vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 633-640, 2008.
- DON, A. et al. Impact of tropical landuse change on soil organic carbon stocks – a metaanalysis. **Global Change Biology**, v. 17, p. 1658-1670, 2011.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. **Defining and assessing soil quality**. In: DORAN, J. W. et al. (Eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-22.
- EFFGEN, E. M. et al. Atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob cultivo de eucalipto e pastagem no sul do Espírito Santo. **Scientia Forestalis**, v. 40, p. 375-381, 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro, 2011, 230 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

FALLEIRO, R. M. et al. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1097-104, 2003.

FARIA, A. B. C. et al. Efeitos da intensidade da queima controlada sobre o solo e diversidade da vegetação de campo em Irati – PR, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 3, p. 489-494, 2011.

FARIAS, C. A. F. et al. Uso da terra e degradação ambiental nas sub-bacia do Riacho do Quirino – Caculé, BA. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, p. 215-233, 2013.

FATUBARIN, A.; OLOJUGBA, M. R. Effect of rainfall season on the chemical properties of the soil of a Southern Guinea Savanna ecosystem in Nigeria. **Journal of Ecology and the Natural Environment**, v. 6, n. 4, p. 182-189, 2014.

FRANZLUEBBERS, A. J.; HANEY, R. L. **Assessing soil quality in organic agriculture**. USDA Agricultural Research Service. Critical Issue Report: Soil Quality. Out, 2006. Disponível em: <<http://www.organic-center.org>>. Acesso em: 18 jan. 2017.

FREITAS, L. C.; SANT'ANNA. G. L. Efeitos do fogo nos ecossistemas florestais. **Revista da Madeira**. Ed. 79, 2004. Disponível em: [http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=508&subject=Inc%](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=508&subject=Inc%). Acesso: 15.01.2018.

GATTO, A. et al. Efeito do método de preparo do solo, em área de reforma, nas suas características, na composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*, **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 635-646, set./out., 2003.

JACOMINE, P. K. T. Caracterização do estágio atual dos solos sob caatinga. In: ARAÚJO, Q. R. (Org.). **500 anos de uso do solo no Brasil**. Ilhéus, BA: Editus, 2002, p. 365-398.  
JACQUES, A. V. A. A queima das pastagens naturais - efeitos sobre o solo e a vegetação. **Ciência Rural**, v. 33, n. 1, p. 177-181, 2003.

KARLEN, D. L. et al. **Soil quality: why and how?** *Geoderma*, v. 114, p. 145-156, 2003.

KNICKER, H. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 85, n. 11, p. 91-118, mar. 2007.

LAL, R.; PIRCE, F. J. **The vanishing resource**. In: LAL, R.; PIRCE, F. J. (Ed.). *Soil management for sustainability*. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1991. p. 1-5.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. **The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management**. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.;

- STEWART, B. A. Defining soil quality for the sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, 1994. (Publication Special, 35).
- LIMA, S. S. et al. Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em argissolo vermelho-amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 35, n. 1, p. 51-60, 2011.
- LIRA, E. C. **Indicadores da qualidade do solo sob monocultivo de uva Isabel: atributos químicos e mineralógicos do solo**. 2016. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2016.
- LORENZON, A. S. et al. Análise química de um solo florestal após ocorrência de fogo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v. 4, n. 2, p. 142-147, Dezembro, 2014.
- LORO, LUCIANA et al. Caracterização de atributos químicos do solo em diferentes sistemas de manejo. **Cadernos de Agroecologia**, v. 11, n. 2, dec. 2016. ISSN 2236-7934. Disponível em: <<http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/cad/article/view/21407>>. Acesso em: 15 jan. 2018.
- LOURENTE, E. R. P. et al. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 20-28, 2011.
- MANZATTO, C. V. **Uso agrícola dos solos brasileiros** / Celso Vainer Manzatto; Elias de Freitas Junior; José Roberto Rodrigues Peres (ed.). – Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002.
- MARINHO, A. C. C. S. et al. Organic matter and physicochemical attributes of a Cambisol under different agricultural uses in a semi-arid region of Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, p. 32-41, 2016.
- MARQUES, L. F. et al. Impacto da queimada na biomassa microbiana de solo em fragmento de mata atlântica no estado da Paraíba. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v. 12, n. 2, p. 018-032, 2015.
- MATOS, F. O. et al. Teores de nutrientes do solo sob sistema agroflorestal manejado com e sem queima no estado do Pará. **Floresta e Ambiente**, v. 19, p. 257-266, 2012.
- MATOS, F. O. et al. Teores de nutrientes do solo sob sistema agroflorestal manejado com e sem queima no estado do Pará. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 3, p. 257- 266, 2012.
- MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 2010. 568p.
- MELO, A. A. B. **Distribuição espacial de alguns atributos de um argissolo amarelo sob diferentes manejos no perímetro irrigado do Baixo Acaraú–Ce**. 2016. Dissertação. (Mestrado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Areia, 2012.

- MENDES, F. G. et al. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, v. 12, p. 211-220, 2006.
- MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV. 2005. 107p.
- NEARY, G. D. et al. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. **Forest Ecology and Management**, 122(1-2): 51-71, 1999.
- NEVES, C. M. N. et al. de. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do Estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, n. 74, p. 45-53, 2007.
- NIERO, L. A. C. et al. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1271-1282, 2010.
- NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. **Relação solo-planta**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. 4, p. 133-204.
- OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**. 3aed. Piracicaba: FEALQ, 2008. 546p.
- PEREIRA, R. G. et al. Atributos químicos do solo influenciados por sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, v. 22, p. 78-84, 2009.
- PEREZ, A. M. M. et al. Impactos da implementação de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo. **Agropecuária Técnica**, v. 25, n. 1, p. 25-36, 2004.
- PEREZ, K. S. S. et al. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 567-573, 2004.
- PORTUGAL, A. F. et al. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 575-585, 2010.
- RAIJ, B. V. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo. 1997. 287p.
- RAIJ, B.V. et al. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas, Fundação Cargil, 1987. 170p.
- RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1609-1623, 2007.

- RANGEL, O. J. P. et al. Carbono orgânico e nitrogênio total do solo e suas relações com os espaçamentos de plantio de cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2051-2059, 2008.
- REDIN, M. et al. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 381-392, 2011.
- RHEINHEIMER, D. S. et al. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 49-55, jan./fev., 2003.
- RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, United States Department of Agriculture, 1954. 160p. (Agriculture Handbook, 60).
- ROCHA, O. C. et al. Chemical and hydrophysical attributes of an Oxisol under coffee intercropped with brachiaria in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1476-1483, 2016.
- RODRIGUES, M. et al. Changes in chemical properties by use and management of an oxisol in the amazon biome. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 2, p. 278- 286, 2017.
- ROSCOE, R. et al. Effects of fire on soil organic matter in a cerrado “sensu stricto” from Southeast Brazil as revealed by changes in  $\delta^{13}\text{C}$ . **Geoderma**, v. 95, p. 141-160, 2000.
- SAHRAWAT, K. L. How fertile are semi-arid tropical soils? **Soil and Water Management**, v. 110, p. 1671-1674, 2016
- SANTANA, D. F.; BAHIA FILHO, A. F. C. **Soil quality and agriculture sustainability in the Brazilian Cerrado**. In: WORD CONGRESSS OF SOIL SCIENCE, 16, 1998. Montpellier, França. Proceedings, Montpellier. ISSS, 1998- CD-ROM.
- SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo do solo. **Ciência Rural**, v. 33, p. 477-86, 2003.
- SANTOS, R. V. et al. Diagnóstico e desenvolvimento inicial de mamoneira em solos de áreas degradadas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, p. 208-212, 2015.
- SIGNOR, D. et al. Atributos químicos e qualidade da matéria orgânica do solo em sistemas de colheita de cana-de-açúcar com e sem queima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1438-1448, set., 2016.
- SIGNOR, D. et al. Estoques de carbono e qualidade da matéria orgânica do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1402-1410, 2014.
- SILVA JUNIOR, C. A. et al. Atributos Químicos do Solo Sob Conversão de Floresta Amazônica para Diferentes Sistemas na Região Norte do Pará, Brasil. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 4, p. 566-572, 2012.

- SILVA NETO, S. P. et al. Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 541-552, 2011.
- SILVA, A. S. et al. Propriedades físicas e químicas em diferentes usos do solo no brejo paraibano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 1064-1072, 2013.
- SILVA, D. M.; BATALHA, M. A. Soil vegetation relationships in cerrados under different fire frequencies. **Plant and Soil**, The Hague, v. 311, n. 1-2, p. 87-96, 2008.
- SILVA, FERNANDO MOREIRA DA. Geografia Física II / Fernando Moreira da Silva, Marcelo dos Santos Chaves, Zuleide Maria C. Lima. – Natal, RN: EDUFRN, 2009.
- SILVA, G. F. et al. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do agreste paraibano. **Revista Caatinga**, vol. 28, p. 25-35, 2015.
- SIMON, C. A. et al. Efeitos da queima de resíduos do solo sob atributos químicos de um latossolo vermelho distrófico do cerrado. **Nativa, Sinop**, v. 4, n. 4, p. 217-221, 2016.
- SIQUEIRA NETO, M. et al. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, p. 709-717, 2009.
- SOUSA NETO, O. N. et al. Chemical attributes of traditional agriculture and Caatinga managed at different depths in an Inceptisol. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 50-55, 2017.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.
- SOUSA, D. M. G. et al. **Acidez do Solo e sua Correção** In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 203-274.
- SOUZA, J. G. **O Nordeste brasileiro: uma experiência de desenvolvimento regional**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 1979. 410 p.
- SOUZA, R. A. et al. Effects of sugarcane harvesting with burninf on the chemical and microbiological properties of the soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 155, p. 1-6, 2012.
- URRETAVIZCAYA, M. F. Propiedades de suelos en bosques quemados de *Austrocedrus chilensis* en Patagonia, Argentina. **Bosque**, v. 31(2), p. 140-149, 2010.
- VEZZANI, M. L.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 743-755, 2009.

WIKARS, L.; SCHIMMEL, J. Immediate effects of fire-severity on soil invertebrates in cut and uncut pine forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 141, n. 3, p. 189-200, feb. 2001.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 1467-1476, 1988.

ZILLI, J. E. et al. **Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo**. Cadernos de Ciência & Tecnologia, v. 20, p. 391-411, 2003.