

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

**EFEITO DA QUEIMADA SOBRE ATRIBUTOS FÍSICO, QUÍMICOS E
MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM ÁREA DE PASTAGEM, NO SUL DE MINAS
GERAIS**

Ana Camila Vieira

Itajubá (MG)

Junho 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

Ana Camila Vieira

**EFEITO DA QUEIMADA SOBRE ATRIBUTOS FÍSICO, QUÍMICOS E
MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM ÁREA DE PASTAGEM, NO SUL DE MINAS
GERAIS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de Concentração: Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Orientadora: Profa. Dra. Eliane G. P. Melloni

Itajubá (MG)

Junho 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

Ana Camila Vieira

**EFEITO DA QUEIMADA SOBRE ATRIBUTOS FÍSICO, QUÍMICOS E
MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM ÁREA DE PASTAGEM, NO SUL DE MINAS
GERAIS**

Dissertação aprovada por banca examinadora em
23 de junho de 2016, conferindo ao autor o título
de *Mestre em Meio Ambiente e Recursos
Hídricos*.

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Eliane G. P. Melloni (Orientadora)

Profa. Dra. Fabrina Bolzan Martins (Unifei)

Prof. Dr. Rogério Melloni (Unifei)

Profa. Dra. Francisca Alcivânia de Melo Silva (Unesp)

Itajubá (MG)

Junho 2016

DEDICO

Aos meus pais, Carmo e Helena, pelo grande exemplo de humildade, fé, dignidade e, sobretudo, confiança em Deus.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e a Maria Santíssima, pelo dom da minha vida e pela intercessão em todos os momentos.

À Capes pelo apoio.

À Unifei e ao Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Recursos hídricos pela oportunidade de aprendizado e crescimento.

À minha orientadora, professora Dra. Eliane G. P. Melloni pelo apoio, amizade e por acreditar no meu trabalho.

Ao professor Dr. Rogério Melloni pelo apoio, amizade e por todo conhecimento compartilhado.

À professora Dra. Fabrina pelo incentivo e auxílio.

Aos demais professores do curso e aos técnicos dos laboratórios de solos e microbiologia, Josivaldo e Paulo, pela construção do conhecimento necessário e essencial para a realização deste trabalho, e aos funcionários do Cequam.

À minha família, em especial, meus pais Carmo e Helena, meus irmãos Rodolfo e Gabriel, e meu namorado Júnior, por serem presença real de Deus em minha vida, pela paciência e conselhos, por acreditarem em mim e caminharem sempre comigo construindo essa realidade.

Aos meus amigos pela paciência, incentivo e por partilharem comigo momentos tão ricos de convivência, pelos sorrisos e abraços de sempre, vocês são presentes de Deus.

Aos amigos e colegas de turma, em especial à Jéssica pelo apoio e por caminhar comigo desde antes do início dessa conquista, e ao Leonardo por toda a ajuda e pela amizade consolidada nessa caminhada.

Aos bolsistas de iniciação científica pela ajuda no decorrer do trabalho.

E a todos que de certa forma me ajudaram ou fizeram parte desse trabalho, muito obrigada.

RESUMO

A utilização da queimada como manejo em solos agrícolas é prática comum no Brasil, podendo causar impactos negativos e positivos. Do ponto de vista ambiental, é necessário avaliar a qualidade do solo em ambientes que são constantemente submetidos ao manejo com queimada. Poucos trabalhos abordam o efeito da queimada na qualidade do solo de pastagem por meio da associação de atributos físicos, químicos e microbiológicos. Sendo assim, o objetivo deste estudo é avaliar o efeito da queimada sobre tais atributos em solo de pastagem, classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, de modo a observar a sua sensibilidade no impacto desse manejo. Foram estudados dois ambientes, queimado e não queimado, os quais foram subdivididos em cinco parcelas cada, com amostragem de solo em três profundidades (0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm), para avaliação dos atributos físicos (DMG, DMP), químicos (fertilidade básica) e microbiológicos (atividade e biomassa microbianas, quociente metabólico, densidade total de celulolíticos, amonificantes, desnitrificantes, nitrificantes e bactérias solubilizadoras de fosfato), em duas épocas (setembro/2014 e março/2015). A queimada alterou a estabilidade de agregados, com redução dos valores de DMG e DMP, e proporcionou aumento nos teores de P e Mg, sendo que essas alterações se mantiveram ainda na segunda época de coleta. Houve efeito negativo da queimada no grupo microbiano de solubilizadores de fosfato, com valores inferiores no ambiente queimado nas duas épocas avaliadas. Observou-se impacto negativo na biomassa microbiana e no quociente metabólico imediatamente após a queimada, recuperando-se os valores na segunda época de coleta, quando comparados ao ambiente não queimado. Dessa forma, esses atributos podem ser considerados bons indicadores do efeito negativo da queimada em pastagem, com potencial de utilização em programas de manejo que adotam essa prática.

Palavras-chave: Queima. Pasto. Indicador. Qualidade do solo.

ABSTRACT

The use of fire to prepare the soil in agricultural fields is a common practice in Brazil, and can cause both positive and negative impact on the soil. Regarding the environmental aspect, it is necessary to evaluate the quality of the soil in fields which are constantly subjected to fire handling. Only a few studies have approached the effect of fire on pasture soil quality by associating physical, chemical and microbiological attributes. Thus, the aim of this paper is to evaluate the effect of fire on this attributes in pasture soils, classified as Red-Yellow Ultisol, and to observe its sensibility to that management. Two different environments have been studied, one burned and one unburned, each one subdivided in five parcels, with soil samples of three different depths (0-5 cm, 5-10 cm and 10-20 cm), in order to evaluate the physical (DMG, DMP), chemical (basic fertility) and microbiological (activity and microbial biomass, metabolic quotient, total density of cellulolytic, ammonifiers, denitrifiers, nitrifiers and phosphate solubilizing) attributes, collected in two different periods (September/2014 and March/2015). The fire changed the aggregate stability, with reduction of DMG and DMP values and increase of P and Mg, with alterations remaining in the second period. There were negative effects of fire on phosphate solubilizing microorganisms, which lower values in the burned environment in both periods evaluated. It was possible to observe the negative impact on the microbial biomass and also on the metabolic quotient immediately after fire, recovering the values in the second period, when compared with the unburned environment. Therefore, these attributes can be classified as good indicators of the fire effect on the pasture, with potential use in management programs that adopt this practice.

Key words: Fire. Pasture. Indicator. Soil quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de Estudo.....	26
Figura 2. Esquema da metodologia de coleta das amostras de solo	27
Figura 3. Área de estudo em 08 de setembro de 2014 (A) e em 27 de março de 2015 (B)	28
Figura 5 – Resultado da análise dos componentes principais para os atributos físicos (DMG e DMP), atributos químicos (pH, K, P, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, t, T, V, m, M. O. e P-Rem) e microbiológicos (Biom – biomassa microbiana, qCO ₂ – quociente metabólico, Ativ – atividade microbiana, Celul – celulolíticos, Amon – amonificantes, Desn – desnitrificantes, Nitri – nitritadores, Nitra – nitratores e SOLP – solubilizadores de fosfato) obtidos das áreas de estudo.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Média e comparação de médias para os atributos químicos para os fatores ambiente e profundidade, relativo à primeira (E1: 08 de setembro de 2014) de coleta.	35
Tabela 2 - Média e comparação de médias para os atributos microbiológicos, para os fatores ambiente e profundidade, relativo à primeira época (E1: 08 de setembro de 2014) de coleta.	37
Tabela 3. Interação entre ambiente e profundidade referente a primeira época de coleta (E1: 08 de setembro de 2014), para o atributo biomassa microbiana	38
Tabela 4. Interação entre ambiente e profundidade referente a primeira época de coleta (E1: 08 de setembro de 2014), para o atributo qCO_2	39
Tabela 5 – Média e comparação de médias para os atributos microbiológicos (grupos microbianos), para os fatores ambiente e profundidade, relativo à primeira época (E1: 08 de setembro de 2014) de coleta.	39
Tabela 6 - Média e comparação de médias para os atributos químicos, para os fatores ambiente e profundidade, relativo à segunda época (E2: 27 de março de 2015) de coleta.	42
Tabela 7 - Média e comparação de médias para os atributos microbiológicos, para o fator ambiente, relativo à segunda época (E2: 27 de março de 2015) de coleta.	44
Tabela 8 – Média e comparação de médias para os atributos microbiológicos (grupos microbianos), para os fatores ambiente e profundidade, relativo à segunda época (E2: 27 de março de 2015) de coleta.	46
Tabela 9 - Interação entre ambientes e profundidade referente à segunda época de coleta (27/03/2015), para o grupo de microrganismos solubilizadores de fosfato	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	14
	2.1 Objetivo Geral	14
	2.2 Objetivos específicos.....	14
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
	3.1 Uso da queimada como instrumento de manejo.....	15
	3.2 Qualidade do solo	16
	3.3 Qualidade do fogo.....	17
	3.4 Queimada e os atributos físicos do solo.....	18
	3.5 Queimada e os atributos químicos do solo	20
	3.6 Queimada e os atributos microbiológicos do solo	21
	3.6.1 Atividade microbiana e Carbono da biomassa microbiana	22
	3.6.2 Microrganismos do solo	23
4	METODOLOGIA.....	26
	4.1 Área de Estudo.....	26
	4.2 Amostragem do solo	27
	4.3 Atributos físicos do solo	28
	4.3.1 Estabilidade de Agregados	28
	4.4 Atributos químicos do solo	29
	4.5 Atributos microbiológicos do solo.....	29
	4.5.1 Atividade microbiana e Carbono da biomassa microbiana	29
	4.5.2 Quociente metabólico (qCO ₂)	30
	4.5.3 Grupos microbianos (Celulolíticos, Amonificantes, Desnitrificantes, Nitrificantes e Solubilizadores de fosfato).....	30
	4.5.3.1. Celulolíticos.....	31
	4.5.3.2 Amonificantes.....	31

4.5.3.3	Nitrificantes (Nitritadores e Nitradores).....	31
4.5.3.4	Desnitrificantes.....	32
4.5.3.5	Solubilizadores de fosfato.....	33
4.6	Análises estatísticas.....	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
5.1	Primeira época de coleta.....	34
5.1.1	Atributo físico do solo.....	34
5.1.2	Atributos químicos do solo.....	35
5.1.3	Atributos microbiológicos do solo.....	37
5.2	Segunda época de coleta.....	41
5.2.1	Atributo físico do solo.....	41
5.2.2	Atributos químicos do solo.....	42
5.2.3	Atributos microbiológicos do solo.....	44
5.3	Comparação entre as épocas.....	48
6	CONCLUSÃO.....	53
	REFERÊNCIAS.....	54
	ANEXO A.....	61
	ANEXO B.....	62
	ANEXO C.....	63
	ANEXO D.....	64

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, é comum o manejo do solo com realização de queimadas, em virtude, principalmente, de se tratar de uma técnica considerada barata, não necessitando de grande quantidade de mão-de-obra ou maquinário pesado, e simples, pois permite o reuso imediato do solo. É uma técnica de manejo utilizada, sobretudo, para limpeza e preparo do terreno para o plantio, para renovação de pastagens e controle de pragas e doenças (BONFIM et al., 2003; REDIN et al., 2011)

No entanto, diversos estudos apontam os impactos de tal prática no solo, podendo ser positivos ou negativos. Os impactos negativos estão associados aos fatores econômicos, sociais e ambientais, com diminuição da qualidade do solo e do ar e, conseqüentemente, danos à saúde da população, além da diminuição da visibilidade em decorrência da fumaça, podendo provocar problemas como o fechamento de estradas e aeroportos. Porém, se manejado da maneira correta, a queimada pode trazer impactos positivos como o incremento imediato de nutrientes no solo, disponibilizando-os imediatamente às plantas (NEARY et al., 1999; DIAZ et al., 2002; LOUZADA; MACHADO; BERG, 2003; KEELEY, 2009).

É necessário avaliar as vantagens e as desvantagens do uso da queimada do ponto de vista da sustentabilidade do solo e das atividades agrícolas, considerando-se questões não somente ambientais, mas também culturais, econômicas e, até mesmo, aquelas relacionadas à saúde humana. Avaliar a qualidade do solo após a queimada, considerando seus atributos físicos, químicos e microbiológicos, e comparar com uma área que não sofreu tal processo pode auxiliar no conhecimento do efeito desta prática na sustentabilidade do solo.

Os efeitos da queimada sobre os atributos do solo são diversos. Quanto aos atributos físicos, as cinzas resultantes da queima podem causar o entupimento dos poros, reduzindo a taxa de infiltração de água, alterando a umidade e aumentando o risco de erosão (NEARY et al., 1999). Já as alterações que podem ocorrer nos atributos químicos estão relacionadas à oxidação de matéria orgânica, a liberação de CO₂ na atmosfera, alteração da concentração de compostos químicos como P, K e Mg, podendo ocorrer aumento destes compostos no solo, pela liberação imediata, ou diminuição, pela lixiviação (MELO et al., 2006; REDIN et al., 2011). Já os atributos microbiológicos estão intimamente ligados aos ciclos biogeoquímicos e os microrganismos do solo apresentam, normalmente, grande sensibilidade a quaisquer alterações que possam ocorrer nesse ambiente (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

A qualidade do solo está relacionada com o “bom funcionamento” de todas as suas funções, a manutenção da interação entre estas funções e, conseqüentemente, o equilíbrio do

ambiente como um todo, ou sustentabilidade. Do ponto de vista agrícola, a sustentabilidade está relacionada com a capacidade de produção de alimento juntamente com a manutenção dos processos ambientais que permitem tal produção sem comprometer a qualidade do solo (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003; VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Reconhecendo a importância da sustentabilidade do solo, da manutenção da qualidade do mesmo e os possíveis impactos que a prática da queimada pode causar sobre os atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo, o presente estudo pretende contribuir para o conhecimento dos efeitos que a prática da queimada possa causar no solo, identificando as alterações decorrentes do seu uso por meio de indicadores que possam ser utilizados em programas de manejo do solo que utilizem a técnica da queimada.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o efeito da queimada ao longo do tempo sobre os atributos físicos, químicos e microbiológicos de solo de pastagem, comparando-o com uma área controle, não afetada pela queimada.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar a qualidade física, química e microbiológica de solo sob pastagem queimada e não queimada por meio de diversos indicadores já estabelecidos;
- Comparar a sensibilidade destes indicadores sobre a qualidade do solo, ao longo do tempo;
- Definir os indicadores que podem ser utilizados em programas de manejo do solo onde a queimada foi praticada.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Uso da queimada como instrumento de manejo

No Brasil, as queimadas são práticas comuns em áreas rurais, utilizadas para limpar bem como preparar o solo para o plantio, remover as pastagens, melhorar a oferta e a qualidade dos alimentos, controlar pragas e doenças, abrir novas áreas de plantio, entre outros. (BONFIM et al., 2003; LOUZADA; MACHADO; BERG, 2003; REDIN et al., 2011). Quando aplicado em uma determinada área, considerando a intensidade, a duração e também as características do ecossistema (ex. composição vegetal, topografia, clima e etc.), as queimadas podem afetar de forma direta os componentes bióticos e abióticos do solo. Como resultado, pode provocar uma série de alterações na dinâmica e na estrutura do ecossistema, alterando atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Tais alterações ou impactos podem ser positivos ou negativos (LOUZADA; MACHADO; BERG, 2003; PALESE et al., 2004; BARREIRO et al., 2010), devendo-se considerar também o método de aplicação desta prática e o controle do mesmo.

Neste contexto, os impactos negativos estão associados à redução da umidade do solo e capacidade de retenção de água, alterações na ciclagem de nutrientes, aumento do risco de erosão e, conseqüentemente, o assoreamento de rios, redução da matéria orgânica no solo, perda de comunidades microbianas e de macro invertebrados e a morte de plantas e animais (NEARY et al., 1999; LOUZADA; MACHADO; BERG, 2003; KEELEY, 2009). O homem também pode ser prejudicado, uma vez que queimadas, acidentais ou não, podem “fugir do controle”, trazendo grandes prejuízos econômicos ao proprietário, como a destruição de plantações, a remoção de animais e destruição de bens materiais. Além disso, há liberação de grande quantidade de CO₂ na atmosfera, contribuindo com o efeito estufa, além de deteriorar a qualidade do ar, podendo acarretar danos à saúde da população (NEARY et al., 1999; DIAZ et al., 2002).

Porém, a queimada como técnica de manejo pode trazer também impactos positivos como o incremento imediato de nutrientes no solo. Em alguns ecossistemas como a savana, o cerrado e os campos sulinos, a queimada ocorre como processo natural, é parte integrante da dinâmica do ecossistema, atuando na mediação de interações entre espécies vegetais e na renovação das estruturas físicas e funcionais do sistema. Algumas destas espécies vegetais desenvolveram mecanismos de resistência e tolerância e tornaram-se dependentes do fogo para seu desenvolvimento. Contudo, as queimadas provocadas por pecuaristas nas regiões de

cerrado e campus sulinos, estão causando impactos negativos por não respeitarem a época propícia e natural de ocorrência e por alcançarem maiores extensões e periculosidade (LOUZADA; MACHADO; BERG, 2003; FIDELIS; PIVELLO, 2011).

Podem-se citar também como impacto positivo os benefícios econômicos que esta prática traz aos agricultores. Estas “vantagens” foram citadas por agricultores rurais em um estudo realizado por Bonfim et al. (2003) no Parque do Brigadeiro - Minas Gerais, avaliando o uso da queimada em torno do referido parque. Os autores concluíram que os produtores rurais preferem utilizar queimadas para preparo e limpeza de terrenos por ser uma técnica que não necessita de maquinário, o que reduz os gastos com mão-de-obra e permite o reuso imediato do solo, mesmo reconhecendo que a prática constante contribui para o empobrecimento do solo, ocasionando desgastes físicos e químicos.

3.2 Qualidade do solo

O termo “qualidade do solo” possui diversas definições e, entre elas, destaca-se neste trabalho a definição de Karlen et al. (1997), em que qualidade do solo é:

“[...] a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro de ecossistemas naturais ou gerenciados, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar e dar suporte para habitação e saúde humana”.

As inter-relações entre os atributos físicos, químicos e biológicos formam a qualidade do solo (EMBRAPA, 2006a) e esta é estimada por meio de observações destes atributos. Avaliar a qualidade do solo por meio de seus atributos é uma tarefa complexa devido às inúmeras inter-relações que podem existir entre os atributos físicos, químicos e microbiológicos, e os múltiplos tipos e usos de solos. Sendo assim, a utilização de diversos indicadores de qualidade é de grande importância para a avaliação da sustentabilidade ambiental do solo (MELLONI et al., 2008). Tais indicadores são um conjunto de propriedades que tem por função descrever a maioria dos processos ecológicos que ocorram no solo observado (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Sendo assim, a avaliação da qualidade do solo tem uma dimensão espaço-temporal. Frente a um manejo aplicado ao solo, deve-se considerar as alterações que possam ocorrer no ambiente e também o tempo necessário para que ocorram. (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003). Desta maneira, atributos microbiológicos e bioquímicos podem ser considerados bons indicadores de funcionalidade do ecossistema, uma vez que estes sofrem alterações ao longo do tempo (MELLONI et al., 2001). Torna-se interessante a análise destes

indicadores quando se deseja avaliar o desempenho de funções-chave do solo, pois os indicadores microbiológicos são mais sensíveis a possíveis alterações, fato que acarreta grande importância a este, quando se pretende avaliar diferentes práticas de manejo ou os efeitos adversos do manejo sobre a qualidade do solo, permitindo assim a antecipação de medidas corretivas ou de controle (CHAER; TÓTOLA, 2007).

Já a sustentabilidade, em meio ambiente, refere-se à capacidade do ambiente em se manter, dependente ou independente de algo ou alguém (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003). No caso de sistemas agrícolas, a sustentabilidade conceitua-se pela capacidade do sistema em produzir alimentos sem comprometer as condições que permitem o processo de produção. Deste modo, é necessário que se observe a relação entre qualidade do solo e sustentabilidade agrícola, que se dá na produção de alimentos em um solo que seja capaz de cumprir suas funções através de um processo de produção que seja seguro do ponto de vista ambiental, viável do ponto de vista econômico e aceito pela sociedade (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

3.3 Qualidade do fogo

Pode-se definir queimadas como sendo a aplicação manual e controlada do fogo em áreas pré-determinadas, como manejo para fins agropastoris ou florestais. Já os incêndios são caracterizados pela queima não controlada de grandes extensões de áreas florestais ou qualquer outra forma de vegetação (BRASIL, 1998), estes podem ter origens naturais (como raios) ou serem resultado de queimadas que fugiram do controle ou até mesmo causadas de maneira intencional/criminosa.

Considerando as queimadas, a resposta do ambiente frente à aplicação do fogo depende das características de cada ecossistema. O desenvolvimento do fogo, como, por exemplo, o tempo de duração, a intensidade e a severidade, serão diferentes em cada ambiente. Endente-se por intensidade à força relativa do fogo no ambiente, podendo ser alta, moderada ou baixa. A intensidade é medida pela relação inversa entre a energia liberada pelo fogo por unidade de área atingida e a velocidade de propagação. Sendo assim, uma queimada “rápida” consome pouco combustível e causa menos danos ao ambiente, em contrapartida, uma queimada “lenta”, consome mais material combustível, agindo por mais tempo no solo, podendo causar mais danos ao mesmo (BORCHERT; ODION, 1995; KEELEY, 2009). Em áreas de pastagem, até mesmo por suas características de vegetação baixa, o efeito/duração da queimada tende a ser rápido quando comparado a uma vegetação densa de florestas, onde a queimada ocorre de forma lenta, com efeito duradouro.

Outro fator a ser considerado é a severidade do fogo, ou seja, o quanto este fogo afetou o solo. A severidade é medida através da avaliação da perda de matéria orgânica ou da avaliação da quantidade de cinzas depositada sobre a superfície. A determinação da perda de matéria orgânica é feita através da observação do volume de área queimada bem como do diâmetro dos galhos de árvores e arbustos remanescentes. A necessidade de se avaliar a severidade do fogo se dá pelo fato de permitir a avaliação dos danos que a intensidade do fogo causou no solo, pois as respostas variam entre os ecossistemas. Em florestas, a severidade do fogo está associada à capacidade de recuperação do meio, o crescimento de plantas invasoras e mudanças na fauna e flora. Já em solos com vegetação arbustiva, existe uma alta correlação entre a severidade do fogo e a redução do crescimento de plantas invasoras (KEELEY, 2009).

Em um estudo realizado no Parque Nacional Serra de Itabaiana, em Sergipe-Brasil, White et al. (2014) avaliaram as características do material combustível superficial, referentes às três formações vegetais predominantes na região, sendo estas campos gramíneos, matas e areia branca (formada por vegetação arbustiva). Os autores encontraram maior quantidade de material combustível na vegetação de mata (12,5 t/ha), enquanto que os campos gramíneos apresentaram 3,7 t/ha, sendo a menor quantidade. Os autores afirmam que a baixa quantidade de material combustível nos campos gramíneos sugere que os incêndios nessas áreas sejam de pequeno porte, com queima rápida de todo material combustível. Sendo o tempo de duração do fogo, de acordo com os autores, menor quando comparado com outras vegetações.

Outro estudo interessante, foi feito por Fichino et al. (2016), avaliando o efeito do fogo na manutenção da integração e germinação de sementes em plantas do Cerrado. Não se observou, sob condições laboratoriais, efeitos da queimada e da fumaça na germinação das sementes. No entanto, a capacidade de germinação das sementes foi mantida mesmo quando as temperaturas testadas foram superiores àquelas medidas em condições de campo sob queimada. Esse resultado evidenciou que as sementes produzidas por algumas plantas de Cerrado possuem capacidade de resistir à queima, mesmo em temperatura entre 60-100 °C, avaliadas sobre o solo com queima, obtidas por um tempo menor que 270 segundos.

3.4 Queimada e os atributos físicos do solo

Os processos físicos que ocorrem no solo afetam de forma direta a produtividade e a sustentabilidade dos ecossistemas. Assim sendo, a estrutura, a porosidade, a infiltração e a temperatura são constituintes fundamentais e podem ser diretamente afetados por distúrbios, como a queimada. A estrutura do solo é a propriedade que mantém o equilíbrio no regime hidrológico e diminui o risco de erosão. Solos com boa estruturação formam macroporos,

permitindo o armazenamento de água, o que viabiliza a sobrevivência da flora e fauna (NEARY et al., 1999).

No entanto, quando a queimada é aplicada, ocorre a diminuição do volume destes macroporos e o entupimento dos mesmos pelas cinzas, podendo também ocorrer diminuição do tamanho dos agregados, o que conseqüentemente reduz a taxa de infiltração de água, aumenta a ocorrência dos processos erosivos, e altera a umidade do solo, em função da remoção da vegetação. Além disso, podem ocorrer alterações também na temperatura das camadas superficiais do solo, pois, após a queima, a temperatura do solo tende a se manter acima do normal em função da incidência direta do sol devido à remoção da vegetação e do acúmulo de cinzas, ocasionando o escurecimento do solo e o aumento da absorção de calor. Outro problema causado pela remoção da vegetação é quanto à ocorrência de chuva, podendo provocar a lixiviação de nutrientes e partículas (NEARY et al., 1999; LOUZADA; MACHADO; BERG, 2003; REDIN et al., 2011).

Trindade, Valente e Mourão Júnior (2012), em seu estudo sobre os atributos físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo, constataram algumas destas alterações. No referido estudo, os autores observaram que, após a queima, o solo apresentou maiores valores de densidade (aproximadamente $1,41 \text{ kg dm}^{-3}$ na camada de 0 - 10 cm), embora não diferindo estatisticamente dos demais, e que a falta de cobertura vegetal e o entupimento dos poros pelas cinzas podem ter provocado uma sensível compactação do solo em relação à testemunha, que apresentou densidade próximo de $1,27 \text{ kg dm}^{-3}$. Lisbôa e Miranda (2014), avaliando atributos físicos e químicos em solos submetidos a diferentes manejos, também constataram condições físicas inferiores em solos submetidos a queimadas constantes. Os autores verificaram aumento nos valores de densidade e diminuição da porosidade total na camada mais superficial do solo (0-5 cm).

A estabilidade de agregados é outro atributo físico que pode se alterar em decorrência da queimada. Sua função está ligada à infiltração, armazenamento, permeabilidade de água e erodibilidade do solo, este atributo é fortemente influenciado pelo manejo. Valores altos de DMG (diâmetro médio geométrico) indicam agregados estáveis no solo (LUCIANO et al., 2010). Thomaz (2011), estudando a influência da temperatura no diâmetro e estabilidade dos agregados, constatou que sob a temperatura de $200 \text{ }^\circ\text{C}$ já é possível observar a destruição de agregados de maiores (2 mm), resultante, provavelmente, da destruição dos agentes cimentantes pelo fogo. Os autores afirmaram ainda que, temperaturas consideradas baixas ($100\text{-}150 \text{ }^\circ\text{C}$) podem ser facilmente alcançadas pela queima, quando aplicados em áreas

agrícolas e que, tal alteração no ambiente pode afetar a estabilidade dos macroagregados, causando distúrbios na camada superficial do solo.

3.5 Queimada e os atributos químicos do solo

A matéria orgânica é um elemento essencial para a manutenção do solo, fornecendo uma cobertura protetora, que reduz os riscos de erosão, auxilia na regulação térmica, sendo ainda habitat de muitos organismos que vivem no solo e a utilizam como fonte de alimento, como os detritívoros e decompositores (NEARY et al., 1999). Desta maneira, a decomposição libera, de forma gradativa, nutrientes, carbono e outros compostos, favorecendo a agregação e aumentando a fertilidade do solo. No entanto, a queima acelera este processo, promovendo a oxidação da matéria orgânica e, com isso, aumentando a disponibilidade de nutrientes, liberando quase que imediatamente os elementos químicos e o carbono no sistema, dificultando ou impedindo assim a ciclagem natural destes elementos (LOUZADA; MACHADO; BERG, 2003).

Com isso, o gás carbônico que é liberado neste processo não é reintroduzido no sistema, podendo levar a perda total deste composto para a atmosfera. Podem ocorrer alterações também na concentração de compostos químicos do solo como P, Ca, K e Mg, sendo, o aumento da concentração destes nas cinzas ou até mesmo sua redução devido, principalmente, à lixiviação (LOUZADA; MACHADO; BERG, 2003; MELO et al., 2006; REDIN et al., 2011).

Em um estudo sobre o efeito da queima nas características químicas e biológicas do solo, em sistema de bracinga, Pomianoski, Dedecek e Vilcahuaman (2006), analisaram o teor de nutrientes nas cinzas após a queima e encontraram uma quantidade elevada de P, K, Ca e Mg, entretanto, eles reiteram que estes podem ser facilmente lixiviados. Os autores constataram ainda, que houve um aumento no teor de P na área queimada, quando comparado às demais áreas avaliadas (bracinga sem queima e mata nativa), este resultado foi encontrado somente na camada superficial. No mesmo trabalho, os teores de Ca, Mg e K não apresentaram diferença entre os tratamentos.

O pH do solo pode também ser alterado. Em estudo, realizado por Melo et al. (2006), na colônia agrícola do Apiaú, Roraima, avaliou-se as características do solo sob diferentes usos e após a queima. Os autores constataram alterações no pH, pois diagnosticou-se acidez média a fraca, com valores variando de 5,5 a 7 e aumentando com a profundidade. Fato correlacionado, de acordo com o estudo, com a presença das cinzas que neutralizaram a acidez trocável do solo.

Já Faria et al. (2011), em um estudo sobre os efeitos da intensidade da queima controlada sobre o solo e a diversidade da vegetação de campo, observaram também um acréscimo no pH do solo, porém o mesmo permaneceu ácido, com pH em torno de 4. Os autores justificaram o fato devido à liberação de óxidos pela queimada, o que causou a neutralização da acidez, adicionando nutrientes ao solo.

O principal benefício da utilização da queimada é o aumento da disponibilidade do nitrogênio para o sistema, uma vez que o nitrogênio é um componente de difícil fixação e necessário para as plantas. Ele está presente, principalmente, na matéria orgânica e seu ciclo é único por ser predominantemente controlado pela ação de microrganismos. As plantas obtêm nitrogênio por meio da associação com microrganismos capazes de desenvolverem fixação biológica ou mineralização. Com a queima, o nitrogênio é imediatamente volatizado e uma parte considerável é perdida para a atmosfera, porém outra parte fica retida nas cinzas e disponível para as plantas. (NEARY et al., 1999; LOUZADA; MACHADO; BERG, 2003, FARIA et al., 2011).

Neste contexto, Nardoto e Bustamante (2003), observaram nas savanas centrais do Brasil, que, quatro dias após a queimada, houve um incremento significativo de N inorgânico na camada de 0-5 cm, quando comparado com os níveis observados antes da queima, porém, nos meses subsequentes, foi observado um decréscimo nesta taxa. Os autores constataram também que a quantidade de N inorgânico ciclado anualmente através da mineralização é menor em solos que passaram pelo processo da queima, sendo de $3,8 \text{ kg ha}^{-1}$, quando comparado com o solo não queimado, que apresentou taxa anual de $14,7 \text{ kg ha}^{-1}$.

O fósforo é também um mineral limitante para as plantas devido à difícil fixação e disponibilização. A maior parte do fósforo disponível nos ecossistemas encontra-se no solo, sendo que 15 a 80% estão na forma orgânica. Este elemento é fortemente ligado à estrutura do solo e uma pequena parte fica disponível para as plantas. (SILVA FILHO; VIDOR, 2001; GRAHAM; MILLER, 2005; RINCÓN; GUTIÉRREZ, 2012). Faria et al. (2011), constaram que o solo que passou pelo processo de queima apresentava três vezes mais fósforo do que a testemunha, sendo os valores, respectivamente, de $22,06 \text{ mg dm}^{-3}$ e $8,32 \text{ mg dm}^{-3}$.

3.6 Queimada e os atributos microbiológicos do solo

Os microrganismos presentes no solo são fundamentais para sua composição, tanto na formação quanto na manutenção. São responsáveis pela ciclagem de nutrientes, pela decomposição de matéria orgânica, fixação de nitrogênio, promovendo, em longo prazo, a sustentabilidade do ecossistema (BARREIRO et al., 2010). São importantes indicadores de

qualidade do solo por estarem fortemente vinculados ao processo de formação, constituírem os ciclos biogeoquímicos e serem sensíveis à mínima alteração no ambiente. Além do mais, são capazes de dar respostas rápidas às alterações sofridas pelo solo, podendo preceder mudanças nas propriedades físicas e químicas (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Deste modo, qualquer alteração que venha a ocorrer nos atributos físicos e químicos afeta diretamente os microrganismos, alterando a biomassa microbiana e a taxa de respiração. Após a queimada, é comum que ocorra um aumento da taxa respiratória, na tentativa de buscar novamente o equilíbrio, porém, nem sempre este fato indica que está ocorrendo aumento da comunidade microbiana. Devido às altas temperaturas, que acabam por consumir a matéria orgânica disponível, ocorre a diminuição da oferta de compostos mineralizáveis para os microrganismos, aumentando a competição por alimento, causando estresse na comunidade microbiana (EVANGELISTA et al., 2013).

3.6.1 Atividade microbiana e Carbono da biomassa microbiana

A biomassa microbiana é definida como a parte viva da matéria orgânica, constituída por bactérias, fungos, protozoários e representantes do reino animalia, como os nematoides (BARREIRO et al., 2010; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Participa de processos importantes de formação do solo como a decomposição de matéria orgânica e a disponibilidade de nutrientes para as plantas, principalmente nitrogênio mineral e fósforo. Representa ainda uma reserva considerável de nutrientes, disponibilizando-os nos ciclos conforme as necessidades do meio. Modificações nos atributos do solo podem levar a alterações na biomassa, principalmente nas camadas superficiais, onde ocorrem as maiores atividades microbiológicas. Sendo assim, pode-se considerar a biomassa microbiana como um importante indicador de alterações no solo (CERRI; VOLKOFF; EDUARDO, 1985; BALOTA et al., 2003; ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Cerri, Volkoff e Eduardo (1985), avaliando a biomassa microbiana presente no solo após a queima em área de floresta na Amazônia, constataram a diminuição de 2/3 do valor, fato justificado pelos autores pela morte dos microrganismos na camada superficial do solo. Choromanska e DeLuca (2002), avaliando a atividade microbiana e a mineralização de nitrogênio em solos de florestas um ano após a queima e aquecidos em laboratório, também observaram diminuição da biomassa após o aquecimento do solo, sendo a perda mais intensa observada à temperatura de 380 °C, a maior temperatura aplicada no desenvolvimento do experimento. O solo apresentou inicialmente aumento na concentração de C e N e diminuição do C da biomassa e do potencial de mineralização de nitrogênio.

Nardoto e Bustamante (2003) observaram um aumento de C da biomassa microbiana logo após a queimada, 3,4 vezes maior quando comparado ao período pré-queima. Os autores constataram que logo após a queimada há uma menor atividade microbiana quando comparado ao solo não queimado, porém, o solo queimado apresenta altos índices de C disponível, que é rapidamente absorvido, causando o empobrecimento do solo.

Anderson et al. (2004), avaliando o efeito da queima sob os microrganismos do solo e a emissão de CO₂, também observaram aumento na concentração de C orgânico, sendo, 12 dias após a queimada, de 85%. Os mesmos autores constataram que o efeito da queima sobre a biomassa e a atividade microbianas determinaram mudanças severas no solo quanto à disponibilidade de C e N, além de causar o aquecimento do solo e alterar a dinâmica das raízes das plantas. Observou-se também um aumento do C microbiano no solo queimado, fato que os autores indicaram que talvez possa estar ligado ao aumento da concentração de C orgânico e nitrato logo após a queimada.

3.6.2 Microrganismos do solo

Os microrganismos presentes no solo são parte integrante de seu processo de formação e manutenção e, sobretudo por comporem os ciclos biogeoquímicos, são fundamentais para o equilíbrio do solo. Os ciclos biogeoquímicos são processos responsáveis pelo movimento de determinados elementos químicos entre os meios biótico e abiótico. Os componentes bióticos garantem a ciclagem de nutrientes no sistema vegetação-solo, atuando de maneira marcante, em total harmonia com os demais processos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Serão tratados aqui nessa dissertação, somente os ciclos do carbono, nitrogênio e fósforo, em virtude de sua importância e possibilidade de estudo com a infraestrutura disponível.

O carbono é um elemento base do qual se constitui todas as moléculas orgânicas. Os microrganismos denominados celulolíticos compõem o ciclo do carbono e são responsáveis por degradar a celulose que é a molécula orgânica mais abundante no solo. Esta é sintetizada principalmente por microrganismos pertencentes ao gênero *Acetobacter*, e também por bactérias dos gêneros *Rhizobium*, *Agrobacterium* e *Sarcina* (CHAWLA et al., 2009; PINEDA; MESA; RIASCO, 2012). Sendo assim, a quantificação destes organismos indica o funcionamento do processo de mineralização de substratos orgânicos e do ciclo do C no solo (CERRI; ANDREUX; EDUARDO, 1992).

Diferentemente do ciclo do C, no ciclo do N todo o processo de fixação deste elemento no ambiente é inteiramente dependente da ação dos microrganismos presentes no

solo. O nitrogênio compõem 78% do ar atmosférico e é um elemento essencial para as plantas. Sua incorporação no sistema se dá através da fixação biológica e da mineralização. A fixação biológica ocorre pela ação de algumas espécies de bactérias que fazem associações mutualísticas com raízes de plantas, formando nódulos. Estas bactérias convertem o N_2 em NH_3 (amônia) que é incorporado na forma de N orgânico, tornando-o disponível para o meio (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Este grupo de bactérias está classificado em três subgrupos: as bactérias endofíticas obrigatórias, ou seja, bactérias que colonizam o interior das raízes; bactérias facultativas, que sobrevivem livres no solo; e as bactérias rizosféricas, que colonizam as raízes superficialmente (ALIZADEH, 2011). O grupo das bactérias endofíticas facultativa é considerado um dos mais importantes por fixarem nitrogênio em maior quantidade.

No processo de mineralização de nitrogênio, o N inorgânico é transformado em N orgânico (amônia), pela ação dos microrganismos amonificantes. Uma vez disponível no solo, a amônia pode seguir vários caminhos, dentre eles, o processo de nitrificação onde será oxidada por bactérias nitrificadoras e convertida em nitrito e, posteriormente, por meio da ação de bactérias nitrificantes, será convertido em nitrato. Caso o nitrato se acumule no solo, pode passar pelo processo de desnitrificação, pela ação dos microrganismos desnitrificantes, sendo assim, devolvido à atmosfera na forma gasosa (DEENIK, 2006; RINCÓN; GUTIÉRREZ, 2012).

O efeito da intensidade do fogo sobre as propriedades do solo, avaliados por Kennard e Gholz (2001), causou inicialmente um aumento na disponibilidade de amônia e nitrato. Os autores justificaram o aumento de amônia devido à morte de organismos presentes no solo, que ocorreu após a queimada, e o aumento do nitrato devido ao aumento da taxa de nitrificação no solo. Os resultados mostraram também que oito meses após a queimada o N inorgânico presente no solo diminuiu a níveis comparáveis ao tratamento controle. Ekinci (2006), em estudo sobre o efeito da queimada em atributos físicos, químicos e microbiológicos, constataram, após a queima, um aumento na concentração de N orgânico total. Os autores atribuíram este resultado ao incremento de bactérias fixadoras de N o que provocou o aumento da mineralização. O mesmo resultado foi encontrado por Litton e Santelices (2003), avaliando o efeito da queima nas propriedades químicas do solo em floresta do Chile.

A ação dos microrganismos também é fundamental no ciclo do fósforo. O fósforo é um elemento essencial da molécula de DNA, ATP e de fosfolipídios de membrana, sendo essencial para a manutenção da vida. Porém, também é um elemento difícil de ser

incorporado ao solo. Determinados processos de mineralização-imobilização e solubilização biológica do P estão ligados às atividades microbianas. Os microrganismos que colonizam a rizosfera podem excretar ácidos orgânicos que incrementam a solubilização do P. Os microrganismos solubilizadores de fosfato atuam aumentando a disponibilidade do P presente no solo para as plantas. Estes microrganismos têm sido utilizados como inoculantes comerciais na tentativa de promover uma melhor utilização do P presente no solo (SILVA FILHO; VIDOR, 2001; GRAHAM; MILLER, 2005; FERREIRA et al., 2009; RINCÓN; GUTIÉRREZ, 2012). A capacidade de solubilização, por parte dos microrganismos, está intimamente relacionada com o tipo de manejo do solo. Carvalho et al. (2004), avaliando indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo, observaram que solos com menor perturbação continham mais fósforo na biomassa microbiana.

Os estudos realizados no Brasil que avaliam o efeito da queimada sobre estes atributos em solos de pastagem, principalmente quanto aos atributos microbiológicos, não são comuns. Por isso, torna-se importante o desenvolvimento de trabalhos que sigam esta linha de pesquisa.

4 METODOLOGIA

4.1 Área de Estudo

Os ambientes de estudo (Figura 1) localizam-se no município de Itajubá (MG), situado a 22°30'30" de latitude sul, 45°27'20" de longitude oeste, a 842 metros de altitude média. O clima do local, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é Cwb, subtropical com seca de inverno e verão quente (≥ 22 °C), com precipitação média anual de 1.417 mm e a temperatura média anual de 20 °C (INPE, 2012). A área, utilizada para fins de agricultura e pecuária, foi dividida em dois ambientes, queimado, onde a queima ocorreu acidentalmente (Lat.: 22°23'2.86"S Long.: 45°25'28.33" O), com declividade de 23,45 %, e não queimado, utilizado como controle (Lat.: 22°23'0.26"S Long.: 45°25'35.16" O), com declividade de 29,45%.



Figura 1 - Localização da área de Estudo.

Os locais onde foram realizadas as coletas estão indicados em vermelho sendo “Q” o ambiente que sofreu a queima e “NQ” o ambiente que não sofreu queima. Em amarelo uma cerca que separa os pastos e em azul o local onde se encontrava uma agricultura (mandioca), na data da coleta.

Os ambientes são representativos da região e compostos por pastos comumente utilizados para criação extensiva de gado e agricultura, com cultivo de mandioca, medindo 4362m² na área queimada e 3536m² na área não queimada. O solo da área de estudo pertence à classe dos Argissolos, classificado como Argissolo Vermelho Amarelo, com relevo ondulado à forte ondulado (UFV, 2010). Análises complementares de textura, pelo método de análise granulométrica, e porosidade total, ambos descritos pela Embrapa (1997), indicaram que o solo na área possui textura franca, de acordo com classificação da Embrapa (2006b), sendo os percentuais de areia 38%, argila 33% e silte 30% e percentuais de porosidade total em 53 % na área queimada e de 49 % na área não queimada.

4.2 Amostragem do solo

Foi instalado um experimento sob o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x3, sendo 2 ambientes (queimado e não queimado) e 3 profundidades (0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm), e em 5 repetições. A queimada ocorreu acidentalmente, de acordo com informação obtida com o proprietário. Em cada ambiente, foram delimitadas 5 parcelas de 4 x 4 m, dentro de cada parcela foram delimitados aleatoriamente 5 pontos para coleta das amostras simples, de forma a comporem cada amostra composta, que correspondem às unidades experimentais. Nestes pontos foram realizadas coletas de amostras deformadas de solo em três profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm (Figura 2). As coletas foram feitas utilizando enxadinhas (Tramontina[®], dimensões: 321 x 63x192 mm), pazinhas (Tramontina[®], dimensões: 310 x 85 mm) e sacos plásticos (55 x 45 cm), devidamente identificados.

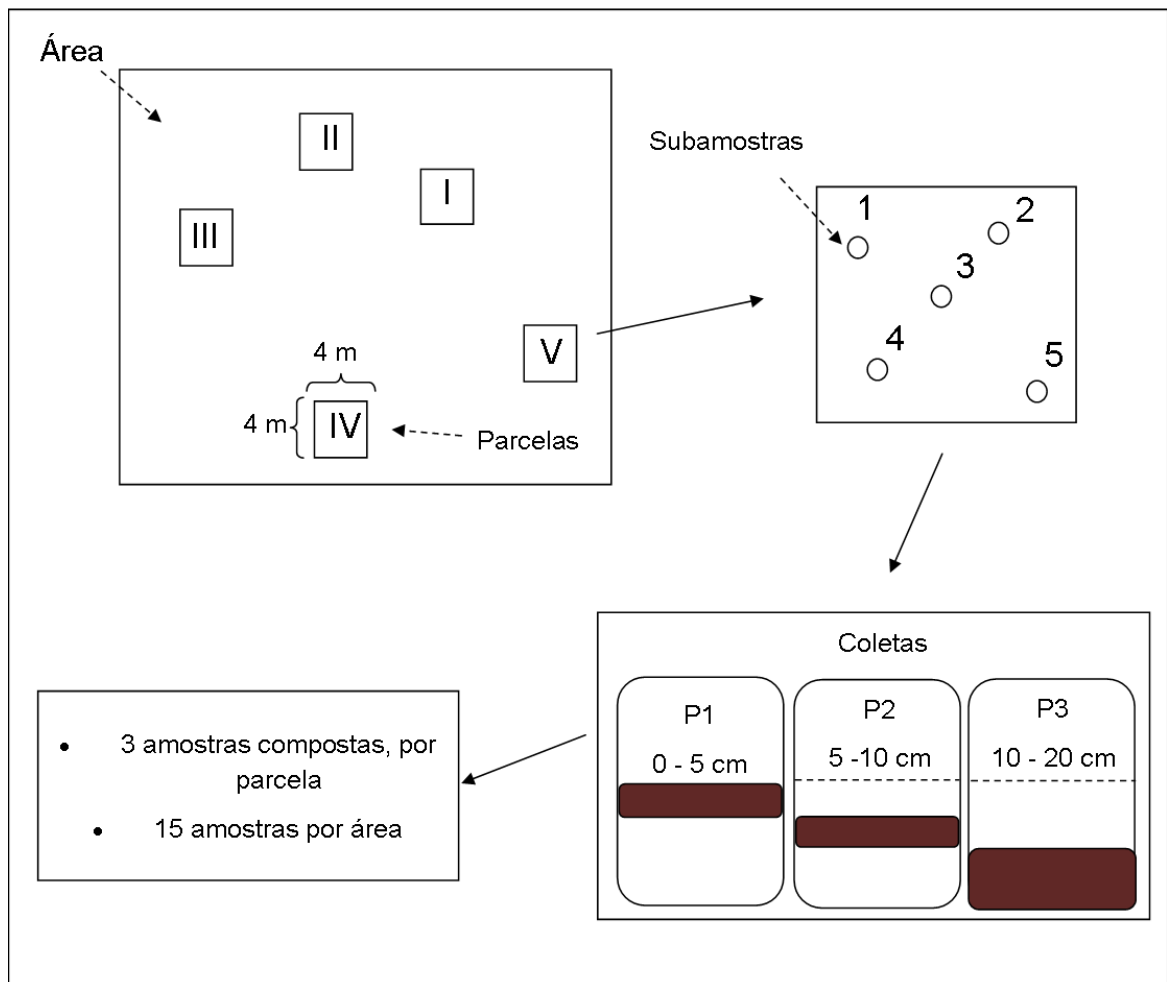


Figura 2. Esquema da metodologia de coleta das amostras de solo

Neste experimento, as variáveis (estabilidade de agregados, fertilidade básica, biomassa e atividade microbiana, quociente metabólico e densidade total de celulolíticos,

amonificantes, nitrificantes, desnitrificantes e solubilizadores de fosfato) foram analisadas em duas épocas (E1: 08 de março de 2014; E2: 27 de março de 2015) (Figura 3), a fim de verificar o comportamento das variáveis relacionadas à queimada em duas épocas distintas segundo os aspectos meteorológicos e a possível recuperação do ambiente. A coleta realizada na primeira época (E1) ocorreu quatro dias após a queimada, da data de ocorrência da queimada para a coleta das amostras não choveu na região (UNIFEI, 2014).

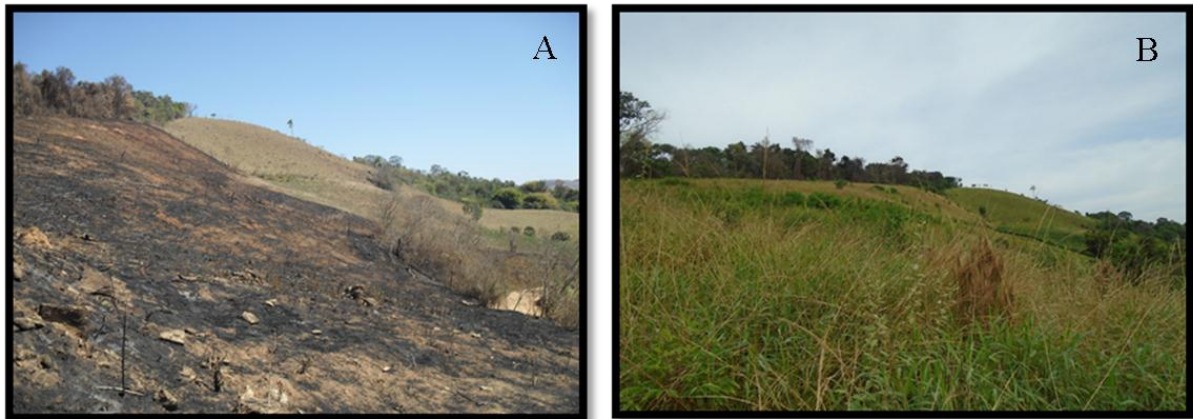


Figura 3. Área de estudo em 08 de setembro de 2014 (A) e em 27 de março de 2015 (B)

Após a coleta, aproximadamente 1 kg das amostras de solo foi peneirado em malha de 2 mm, e acondicionados em sacos plásticos (25 x 35 cm) fechados parcialmente para permitir a entrada de ar e, posteriormente, armazenado em câmara fria a 4 °C, até as análises microbiológicas. O restante do solo foi acondicionado em sacos plásticos e mantidos em câmara fria a 4 °C para a realização das análises físicas e químicas.

4.3 Atributos físicos do solo

4.3.1 Estabilidade de Agregados

Foi avaliado segundo o método descrito pela Embrapa (1997), onde as amostras de solo passaram por peneiramento, em peneiras com malha de 4 mm, e posteriormente colocadas para secar à temperatura ambiente (TFSA). De todas as amostras, foram pesadas 50g de TFSA em triplicata. A primeira amostra de 50 g foi colocada em lata de alumínio de peso conhecido e levada para estufa a 105 °C por 24 horas. O peso desta amostra foi utilizado para o cálculo do teor de água do solo.

As demais amostras foram colocadas em discos de papel, sobre uma bandeja de plástico contendo areia umedecida. A finalidade deste processo é que as amostras sejam

umedecidas por capilaridade. Depois de umedecida, a amostra do solo foi transferida para um conjunto de peneiras de 13 cm de diâmetro na seguinte ordem de malhas: 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm e 0,106 mm. A amostra foi colocada sobre a primeira peneira (2 mm), na parte superior do conjunto.

O conjunto de peneiras foi, então, transferido para o aparelho de oscilação vertical, e este foi preenchido com água até que o nível da água atingisse a amostra de solo. As amostras permaneceram em agitação por 15 minutos. Passado este tempo, o conjunto de peneiras foi retirado do aparelho e a fração de solo contida em cada peneira foi transferida, com o auxílio de água destilada, para latas de alumínio numeradas e de peso conhecido. As latas foram então acondicionadas em estufa a 105 °C por 24 horas. Posteriormente, foram pesadas cada uma destas frações. De posse dos dados, foram calculados o Diâmetro Médio Geométrico (DMG) e o Diâmetro Médio Ponderado (DMP).

4.4 Atributos químicos do solo

Parte das amostras deformadas de solo (200 g) foi peneirada em malha de 2 mm e enviadas para determinação dos atributos químicos no Laboratório de Análises de Solo, Departamento de Ciência do Solo, da Universidade Federal de Lavras, Lavras (MG).

Foram avaliados os seguintes atributos: pH, potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), saturação por base (SB), CTC efetiva (t), CTC_{ph7} (T), índice de saturação por base (V), índice de saturação de alumínio (m), matéria orgânica (M.O.) e fósforo remanescente (P-Rem). Para a análise dos atributos químicos seguiu-se o protocolo descrito pela Embrapa (1997).

4.5 Atributos microbiológicos do solo

4.5.1 Atividade microbiana e Carbono da biomassa microbiana

O carbono da biomassa microbiana foi avaliado segundo Ferreira, Camargo e Vidor (1999), pelo método de irradiação/incubação. Este apresenta o princípio básico da eliminação de microrganismos por meio de radiação eletromagnética do forno de micro-ondas.

De acordo com o método, foram pesadas porções de 40 g de solo, as quais foram irradiadas em forno micro-ondas para determinação da umidade do solo pela diferença de peso antes e depois da irradiação. Posteriormente, foram adicionados a este, 2 g de amostra de solo não irradiado. Outras porções de 42 g de solo das mesmas amostras foram pesadas e

submetidas à incubação, sendo utilizadas para a determinação da atividade microbiana, de acordo com o método descrito por Anderson (1982).

As porções irradiadas e não irradiadas foram acondicionadas em frascos de vidro de 1 L, em seguida receberam a diferença de água perdida pela irradiação e a quantidade de água necessária para elevar a umidade a 50 % da capacidade de campo. Um béquer de 50 mL contendo 10 mL da solução NaOH foi adicionado ao frasco e estes foram fechados imediatamente. O branco, ou controle, foi feito seguindo a mesma metodologia, porém sem amostra de solo dentro do frasco. Os frascos foram incubados em estufa com ausência de luz à temperatura de 28 °C por 10 dias.

Após o tempo de incubação, adicionou-se 5 mL de BaCl_2 1 mol L^{-1} à solução de NaOH que estava no frasco (para cessar as reações do NaOH com o CO_2 do ar). A solução foi então titulada com HCl 1 mol L^{-1} , adicionando-se 2 gotas de fenolftaleína (solução indicadora). O volume de HCl gasto foi anotado e de posse destes dados, determinou-se a atividade microbiana e o carbono da biomassa microbiana.

4.5.2 Quociente metabólico ($q\text{CO}_2$)

O quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) foi obtido por meio da relação entre atividade microbiana (respiração basal) e o carbono da biomassa, expressa em quantidade de CO_2 por carbono da biomassa (ANDERSON; DOMSCH, 1993).

4.5.3 Grupos microbianos (Celulolíticos, Amonificantes, Desnitrificantes, Nitrificantes e Solubilizadores de fosfato)

O procedimento de preparação e inoculação foi semelhante para a avaliação dos microrganismos celulolíticos, amonificantes, nitrificantes (nitritadores e nitratadores), desnitrificantes e solubilizadores de fosfato. As metodologias se diferem, somente, quanto à composição do meio, às diluições e ao tempo de incubação.

Para os celulolíticos, amonificantes, nitrificantes (nitritadores e nitratadores) e desnitrificantes, as análises iniciaram-se com a distribuição de 4 mL dos meios de cultura específicos em tubos de ensaio e, posteriormente, estes foram autoclavados por 20 min a 1 atm. Já os solubilizadores de fosfato foram avaliados por meio de cultura sólido distribuído em placas de Petri de 20 mL.

As diluições foram obtidas a partir de uma solução de 10 g de solo e 90 mL de solução salina a 0,85 %, previamente autoclavada e mantidas por 20 min em mesa agitadora. Posteriormente, foram realizadas diluições sucessivas com alíquotas de 1 mL que foram

transferidas para tubos de ensaio com 9 mL de água destilada, previamente autoclavadas, até a última diluição. Foram adicionadas aos meios, alíquotas de 0,1 mL de cada diluição da solução. As amostras foram feitas em triplicata e alguns brancos também foram feitos para comparar com os meios inoculados.

4.5.3.1. Celulolíticos

Para a avaliação de celulolíticos foi utilizada a metodologia descrita por Eggins e Pugh (1961). O meio de cultura foi composto de 1000 mL de água destilada, 1 g NaNO_3 , 2 g KH_2PO_4 , 0,5 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,5 g KCl, 0,5 g extrato de levedura, 0,5 g caseína hidrolisada, ajustando o pH para 6,8. Os tubos de ensaio receberam além do meio, uma fita de filtro de papel (100 % celulose), sendo esta a única fonte de carbono. Somente os microrganismos capazes de digerir celulose sobrevivem a estas condições. As diluições utilizadas foram de 10^4 a 10^{-10} . As amostras foram mantidas durante sete dias em estufa a 28 °C. Após a incubação, os meios foram analisados, sendo considerados positivos os que apresentaram algum tipo de turbidez ou partículas no meio.

4.5.3.2 Amonificantes

A avaliação de microrganismos amonificantes seguiu o método descrito por Sarathchandra (1978). O meio de cultura foi composto por 1000 mL de água destilada, 10 g de ácido casamino (arginina ou caseína hidrolizada), 0,1 g de extrato de levedura, 1 g de K_2HPO_4 , 0,1 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,01 g de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,01 g de $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, e 0,02 g de fenol vermelho, ajustando o pH para 6,5. Foram utilizadas diluições de 10^{-3} a 10^{-7} . As amostras foram mantidas no escuro, durante cinco dias em estufa a 28 °C. Os meios com produção de amônio promovem alteração da cor laranja para rosa, em função da elevação do pH (>7), como resultado da atividade microbiana.

4.5.3.3 Nitrificantes (Nitritadores e Nitratadores)

Foram quantificados conforme método descrito por Schmidt e Belser (1994). Para isso, preparou-se uma solução estoque, com cada composto químico diluído em 100 mL de água destilada, sendo composta por 5,0 g de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 0,85 g de KNO_2 ou 0,69 g de NaNO_2 , 1,34 g de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 4,0 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,04 g de azul de bromotimol, 3,48 g de K_2HPO_4 , 2,72 g de KH_2PO_4 .

Desta solução foram preparados os meios de cultivo, por litro de água destilada, sendo o meio de oxidantes de amônio (nitritador) composto por: 10 mL solução estoque /L de

(NH₄)₂SO₄, 1 mL solução estoque /L de CaCl₂.2H₂O, 1 mL solução estoque /L de MgSO₄.7H₂O, 5 mL solução estoque /L de azul de bromotimol, 7,5 mL solução estoque /L de KH₂PO₄, 1 mL de ferro quelado e 1 mL de solução de micronutrientes, ajustando o pH para 7,8. O meio de oxidantes de nitrito (nitratador) foi composto por: 1 mL solução estoque /L de KNO₂ ou NaNO₂, 1 mL solução estoque /L de CaCl₂.2H₂O, 5 mL solução estoque/L de MgSO₄.7H₂O, 4 mL solução estoque /L de K₂HPO₄, 1 mL solução estoque /L de KH₂PO₄, 1 mL de ferro quelado e 1 mL de solução de micronutrientes, ajustando o pH a 7,6. As diluições utilizadas foram de 10⁻² a 10⁻⁶ e as amostras foram mantidas em estufa a 28 °C, durante oito semanas.

A revelação dos meios de cultura, após incubação, foi realizada utilizando alguns reagentes, sendo o reagente A (“Diazoting reagent”), o reagente B (“Coupling reagent”) e o reagente C (para teste do nitrato, onde dissolveu-se 0,05 g de difenilamina em 25 mL H₂SO₄ concentrado). Transferiu-se 0,1 mL do meio de cultura inoculado para placas teste. Para revelação dos meios de oxidantes de amônio adicionou-se uma gota dos reagentes A e B em cada alíquota. O surgimento da cor rosa indicou a presença de nitrito. Quando não observou-se mudança de coloração, adicionou-se uma gota do reagente C para verificar a presença de nitrato (NO₃⁻). A presença de microrganismos oxidantes de nitrato foi indicada pela mudança de coloração para azul. Para revelação dos meios de oxidantes de nitrito, adicionou-se uma gota dos reagentes A e B em cada alíquota e para indicação de nitrato a coloração não deveria mudar, sendo que a coloração rosa indicava a presença de nitrito e ausência de oxidação.

4.5.3.4 Desnitrificantes

Para determinar os microrganismos desnitrificantes foi utilizado o método descrito por Tiedje (1982) em que o meio de cultura foi composto por 1000 mL de água destilada, 3 g de extrato de carne, 5 g de NaCl, 0,5 g de KNO₃ e ajustou-se o pH para 6,8, autoclavado por 20 min a 1atm. As diluições utilizadas foram de 10⁻² a 10⁻⁶ e as amostras foram incubadas no escuro, a 28 °C, por quatorze dias em condição anaeróbia.

Após a incubação, a verificação da presença de desnitrificantes foi feita com a identificação da presença ou ausência de NO₃⁻ ou NO₂⁻, sendo que uma alíquota de 100 µl do meio de cultura inoculado foi transferida para placas de teste e adicionadas de 3 a 6 gotas do reagente diphenilamie (50 mg de diphenylamina dissolvidos em 25 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado). A coloração azul indicou a presença de NO₃⁻ e NO₂⁻ e a ausência evidenciou a presença de desnitrificantes.

4.5.3.5 Solubilizadores de fosfato

A avaliação de solubilizadores de fosfato deu-se utilizando o método descrito por Sylvester-bradley et al. (1982), substituindo o extrato de solo indicado por extrato de levedura, no qual a composição do meio de cultura passou a ser de 800 mL de água destilada, 10 g de glicose, 0,1 g de KNO_3 , 5 g de extrato de levedura, 0,2 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,1 g de NaCl , 0,02 g de CaCl_2 , 2 mL de solução de micronutrientes, 4 mL de Fe-EDTA, 15 g de ágar. Foram autoclavados separadamente, K_2HPO_4 em 50 mL de água destilada (10%) e CaCl_2 em 100 mL de água destilada (10%), ajustando o pH de 6,5 a 7,0 para as três soluções. As soluções foram unidas no momento da distribuição do meio às placas de Petri esterilizadas. As diluições foram de 10^{-2} a 10^{-6} . As amostras foram mantidas no escuro, durante cinco dias em estufa a 28 °C. Como o meio apresentava uma cor branca opaca, devido ao fósforo insolúvel, foram avaliadas apenas as colônias que formaram um halo transparente, como resultado positivo.

4.6 Análises estatísticas

Para cada atributo físico, químico e microbiológico foi realizada a verificação da pressuposição da normalidade pelo teste Shapiro Wilk ($\alpha=0,05$). Os dados que não apresentaram distribuição normal foram transformados por raiz quadrada ($\sqrt{X^2+0,5}$) (STORCK et al., 2011). Posteriormente, realizou-se a análise de variância (ANOVA) para avaliar se há diferença entre as fontes de variação avaliadas (níveis do fator ambiente e profundidades), com os valores das probabilidades apresentados nos anexos deste trabalho. Para os atributos que apresentaram significância, realizou-se a comparação de médias pelo teste Tukey ($\alpha=0,05$). Para estas análises, foi utilizado o *software* estatístico SISVAR®, versão 5.3 (FERREIRA, 2008). Posteriormente, com as médias dos atributos físicos, químicos e microbiológicos nos ambientes e nas diferentes profundidades, foi aplicada estatística multivariada, técnica dos componentes principais (PCA), pelo método *Complete Linkage*, utilizando o *software* PC-ORD, versão 5.10 (MCCUNE; MEFFORD, 2006).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Primeira época de coleta

5.1.1 Atributo físico do solo

Para o atributo avaliado, estabilidade de agregados, através da determinação do diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP), houve diferença significativa entre os ambientes (queimado e não queimado), porém não houve diferença significativa entre as profundidades e nem interação entre ambiente e profundidade (Anexo A). Esses atributos apresentaram valores maiores e diferentes para o ambiente não queimado (5,29 mm para o DMG e 5,01 mm para o DMP), quando comparado ao ambiente queimado, que apresentou valores de 4,57 mm e 4,80 mm para DMG e DMP, resultado que indica a sensibilidade deste atributo ao efeito da queimada.

O DMG refere-se a uma estimativa da classe de agregados de maior ocorrência e está associado à capacidade de infiltração, retenção superficial, armazenamento e permeabilidade da água e a erodibilidade do solo. Já o DMP refere-se à porcentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores, podendo refletir a resistência do solo a erosão. (LUCIANO et al., 2010; THOMAZ, 2011).

Em estudo realizado sobre a influência da temperatura no diâmetro e estabilidade de agregados, Thomaz (2011) constatou que, sob temperatura de 200 °C, advinda da queimada, houve redução dos agregados maiores do solo (diâmetro de 2,0 mm). Possivelmente, estes foram os mais afetados pela alta temperatura devido à destruição dos agentes cimentantes dos agregados (matéria orgânica). O autor afirmou que temperaturas entre 100-150 °C são facilmente alcançadas pelo fogo quando aplicado em áreas agrícolas e sugerem que, a esta temperatura, também podem ocorrer alterações na estabilidade dos agregados. Como verificado no presente trabalho, os agregados do solo no ambiente queimado apresentaram valores inferiores, podendo, talvez, este resultado estar associada à ocorrência da queimada, devido à destruição dos agentes cimentantes do solo.

Estes resultados corroboram os encontrados por Freitas et al. (2013), em um estudo sobre agroecossistemas de produção familiar na Amazônia e os impactos causados nos atributos do solo, que também constataram alterações na estabilidade de agregados em solos submetidos à queimadas. Os resultados do estudo indicaram uma redução no tamanho dos agregados, sendo, em curto prazo, influenciado pela queima. Neste sentido, pode-se constatar que os atributos físicos avaliados no presente trabalho foram sensíveis à queimada.

5.1.2 Atributos químicos do solo

Os atributos químicos apresentaram diferença significativa quanto ao ambiente e à profundidade para alguns atributos avaliados, porém não houve diferença significativa para nenhum atributo quanto à interação entre os fatores (Anexo B). Em ambos ambientes, o solo apresenta pH ligeiramente ácido, característica comum em Argissolos (EMBRAPA, 2006b), não diferindo significativamente entre si. Faria et al. (2011) também não constataram alterações no pH do solo após a queimada, encontrando valores de pH em torno de 4, com ligeiro acréscimo após a queima (pH 4,26 antes da queima e 4,35 após a queima).

Comparando-se os ambientes (Tabela 1), houve diferença significativa no teor de P, sendo o maior valor encontrado no ambiente queimado. No entanto, para o teor de P-Rem, o maior valor foi obtido no ambiente não queimado, indicando maior teor de P na solução do solo disponível às plantas.

Tabela 1 – Média e comparação de médias para os atributos químicos para os fatores ambiente e profundidade, relativo à primeira (E1: 08 de setembro de 2014) de coleta.

Ambiente	pH	K mg/dm ³	P	Ca	Mg	Al	H+Al	
		cmol/dm ³			cmol/dm ³			
Queimado	5,01	133,73	5,16 a	1,14	0,43 b	1,05 a	5,60 a	
Não queimado	5,20	114,5	2,78 b	1,21	0,76 a	0,63 b	4,68 b	
Profundidade (cm)								
0-5	5,32	172,25 a	5,68 a	1,51	0,94 a	0,53 b	4,33 b	
5-10	5,03	112,25 b	3,40 ab	1,06	0,45 b	0,91 ab	5,35 ab	
10-20	4,95	87,85 b	2,83 b	0,95	0,34 b	1,08 a	5,75 a	
Ambiente	SB	t	T	V	m	MO	P-Rem	
		cmolc/dm ³			%		dag/kg	mg/L
Queimado	1,91	2,96	7,51 a	25,22	41,19 a	2,44	18,38 b	
Não queimado	2,16	2,78	6,81 b	31,51	24,57 b	2,57	22,45 a	
Profundidade (cm)								
0-5	2,79 a	3,31	7,12	38,52 a	17,89 b	2,84 a	21,53	
5-10	1,80 ab	2,71	7,15	25,30 ab	36,24 ab	2,47 ab	21,39	
10-20	1,52 b	2,59	7,22	21,28 b	44,52 a	2,20 b	18,33	

*Valores seguidos de letras diferentes, diferem entre si na coluna pelo teste de Tukey a 5% de significância.

K = potássio, P = fósforo, Ca = cálcio, Mg = magnésio, Al = alumínio, H+Al = acidez potencial, SB = saturação por bases, t = CTC efetiva, T = CTC_{pH7}, V = índice de saturação por base, m = índice de saturação por alumínio, MO = matéria orgânica e P-Rem = fósforo remanescente.

** Comparação de médias realizados somente para as variáveis que foram significativos para o teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

Segundo Redin et al. (2011), as cinzas provenientes da queima sobre a matéria orgânica apresentam alta concentração de nutrientes como K, P e Ca. Caso as mesmas permaneçam sobre o solo, ocorre um incremento destes elementos na composição do solo e estes podem tornar-se disponíveis às plantas. Para os mesmos autores, caso haja perda das

cinzas, haverá comprometimento da disponibilidade desses nutrientes e o empobrecimento do solo. A presença de cinzas sobre o solo pode estar relacionada com o aumento do teor de P e Al no ambiente queimado. Nesse sentido, em estudo sobre o efeito da queima nas características químicas e biológicas do solo em sistema de bracinga, Pomianoski, Dedecek e Vilcahuaman (2006) constataram que as cinzas continham grande quantidade de P, K, Ca e Mg. Porém, analisando o solo, os autores observaram um incremento, na camada superficial (0-5 cm) somente no teor do P, resultado semelhante ao observado no presente estudo.

Os teores de Al, acidez potencial (H+Al) e o índice de saturação de alumínio (m) foram maiores e significativamente diferentes também no ambiente queimado, enquanto o teor de Mg foi superior no solo não queimado. Resultado semelhante foi encontrado por Iwata et al. (2012) em um estudo sobre o efeito de sistemas agroflorestais nos atributos químicos de Argissolo Vermelho-Amarelo. Os autores constataram que os teores de Al e H+Al foram maiores em solos manejados com queima constante, como no presente estudo. Porém os autores ressaltam que a queimada tem tendência a diminuir os teores de Al em decorrência da liberação de cátions trocáveis (Ca, Mg e K) presentes nas cinzas após a queimada que neutralizam a acidez do solo. Sendo assim, considerando a não alteração no teor de K e os elevados teores de Al e H+Al no ambiente queimado, pode-se afirmar que a queimada não afetou este atributo no solo.

Comparando-se as profundidades, observa-se que os teores de K e Mg apresentaram diferença significativa, onde os valores foram maiores na profundidade de 0-5 cm, diferindo das demais profundidades que, por sua vez, não diferiram entre si. Nos atributos P, SB, V e MO houve também diferenças significativas com maiores valores na profundidade de 0-5 cm, porém os valores não diferiram da profundidade de 5-10 cm, que, por sua vez, não diferiram da profundidade de 10-20 cm. O mesmo ocorre com os atributos Al, H+Al e m, porém nestes os maiores valores são observados na profundidade de 10-20 cm.

A diminuição dos teores de cátions trocáveis nas diferentes profundidades foi observada também por Fatubarin e Olojugba (2014) durante a estação seca, em estudo sobre o efeito da estação chuvosa nas propriedades químicas do solo em savanas. Os autores justificaram tal fato à falta de chuva e, conseqüentemente, à ausência de lixiviação, o que permitiu a acumulação destes cátions na superfície do solo. O teor de matéria orgânica, que decaiu nas profundidades, foi também observado pelos autores, que constataram diminuição de matéria orgânica na estação seca devido às menores intensidades de chuva e à queima que ocorreu antes do início dos experimentos. Os autores justificaram tal fato pela baixa taxa de

decomposição nas camadas mais profundas devido a pouca ou ausência de microrganismos decompositores.

Verificou-se no presente trabalho, a manutenção dos teores de matéria orgânica no solo queimado, em relação ao não queimado, ambos considerados baixos pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004). Desta maneira, Tavares Filho, Ferreira e Ferreira (2011), quando analisaram a fertilidade química do solo sob pastagem com queimada como manejo, constataram que o teor de matéria orgânica foi afetado pelo uso constante do fogo. Entretanto, este resultado foi encontrado apenas em pastagens com queimada anual, sendo que os demais ambientes estudados pelos autores (pastagens com queima a cada dois ou três anos e pastagem sem queima) não apresentaram diferença significativa quanto ao teor de matéria orgânica.

Chaer e Tótola (2007) também não encontraram diferença no teor de matéria orgânica ao avaliar atributos biológicos em área de eucalipto sob diferentes manejos, entre eles a queimada. Dessa forma, mesmo com duração e intensidade maiores do fogo, proporcionadas pela espécie de porte arbóreo eucalipto (BORCHERT; ODION, 1995), o indicador matéria orgânica apresentou-se pouco sensível ao efeito da queima, concordando com os dados do presente trabalho.

5.1.3 Atributos microbiológicos do solo

A atividade microbiana não apresentou interação entre os fatores ambiente e profundidade, porém apresentou diferença significativa quanto a estes fatores analisados separadamente, já biomassa e qCO_2 apresentaram interação (Anexo C). Quanto ao fator ambiente, a atividade microbiana foi maior no ambiente não queimado e quanto ao fator profundidade, os maiores valores foram obtidos em amostras de solo da primeira profundidade, diferindo das demais, as quais não apresentaram diferença entre si (Tabela 2).

Tabela 2 - Média e comparação de médias para os atributos microbiológicos, para os fatores ambiente e profundidade, relativo à primeira época (E1: 08 de setembro de 2014) de coleta.

Ambiente	Biomassa Cmic ($\mu C/g$ terra seca)	Atividade mg CO_2/g de solo	qCO_2 mg C- CCO_2/g de solo
Q	1747,11	62,75 b	0,08
NQ	2419,57	82,09 a	0,05
Profundidade (cm)			
0-5	1988,26	104,27 a	0,11
5-10	2336,58	59,82 b	0,05
10-20	1925,19	53,17 b	0,03

*Valores seguidos de letras diferentes, diferem entre si na coluna pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Os atributos biomassa, atividade e qCO_2 foram considerados muito sensíveis ao efeito da queimada. É possível observar (tabela 3) que na profundidade de 0-5 cm, a biomassa microbiana encontrada no solo queimado apresentou diferença significativa quando comparada com o resultado encontrado na mesma profundidade no solo não queimado, sendo o valor aproximadamente 80,07 % menor. Estes resultados corroboram os encontrados por Sampaio et al. (2003), os quais avaliaram o balanço de nutrientes e da fitomassa na floresta amazônica após a queimada em área de vegetação primária e de derrubada e queima da vegetação. Esses autores constataram uma redução de 36,3 % da biomassa microbiana após a queima, sendo que destes apenas 1,6 % foi convertido em cinzas, com disponibilidade de nutrientes às plantas.

Tabela 3. Interação entre ambiente e profundidade referente a primeira época de coleta (E1: 08 de setembro de 2014), para o atributo biomassa microbiana

Ambiente	Profundidade		
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm
Queimado	661 Bb	2799 Aa	1782 Aab
Não queimado	3316 Aa	1874 Aa	2069 Aa

*Valores seguidos de letras maiúsculas e diferentes, diferem entre si na coluna e valores seguidos de letras minúsculas e diferentes, diferem entre si na linha, pelo teste de Tukey a 5 % de significância

O mesmo foi observado por Nunes, Araújo Filho e Menezes (2006) em um estudo sobre o impacto da queimada e do pousio sobre a qualidade de um solo de caatinga, em que os autores constataram uma redução na biomassa microbiana no solo queimado, sendo o valor encontrado de $87 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ de CO_2 , 24 vezes menor do que o obtido na área que não sofreu queima. Resultado similar ao observado também por Chaer e Tótola (2007) avaliando atributos biológicos em solos de uma área experimental com eucalipto e uma área adjacente de mata secundária, submetidos a diferentes manejos, dentre eles a queimada total do solo. Esses autores observaram menores valores de biomassa microbiana na camada superficial (0-5 cm), indicando uma perda de aproximadamente 50 %, e maiores valores de qCO_2 , sendo que o solo que sofreu queima apresentou qCO_2 1,7 vezes maior do que o da área controle, de mata secundária.

Já Nardoto e Bustamante (2003), estudando o efeito da queimada sobre a dinâmica do N do solo e a biomassa microbiana, observaram que nos dois meses subsequentes à queima houve um aumento de 3,4 vezes no C da biomassa microbiana, sendo o valor máximo encontrado de 850 mg kg^{-1} . Esses autores afirmaram que solos que passaram pelo processo de queima apresentam, inicialmente, menor atividade microbiana. Porém, em alta disponibilidade de C no solo, este é rapidamente consumido, causando o empobrecimento do mesmo.

Com relação ao qCO_2 (tabela 4), o valor observado na profundidade de 0–5 cm no ambiente não queimado foi, aproximadamente, 84,21 % menor do que no ambiente queimado, diferindo significativamente das demais profundidades (5-10 cm e 10-20 cm) dentro do mesmo ambiente. Essa relação de aumento do qCO_2 , advindo de uma redução da biomassa em detrimento da atividade, pode indicar uma condição estressante aos microrganismos (ANDERSON; DOMSCH, 2010) em virtude da queima na superfície.

Tabela 4. Interação entre ambiente e profundidade referente a primeira época de coleta (E1: 08 de setembro de 2014), para o atributo qCO_2

Ambiente	Profundidade		
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm
Queimado	0,19 Bb	0,03 Aa	0,02 Aa
Não queimado	0,03 Aa	0,07 Aa	0,04 Aa

*Valores seguidos de letras maiúsculas e diferentes, diferem entre si na coluna e valores seguidos de letras minúsculas e diferentes, diferem entre si na linha, pelo teste de Tukey a 5 % de significância

Como observado neste estudo, Evangelista et al. (2013) constataram que na camada mais superficial do solo (analisada pelos autores de 0-10 cm), a prática de manejo com queima interfere diretamente na respiração, promovendo a competição e indicando estresse microbiano. A taxa de respiração e de qCO_2 nas áreas queimadas foram maiores do que as taxas encontradas nos demais tratamentos avaliados, sem queima. De acordo com esses autores, a alteração do ambiente promoveu o estresse da comunidade microbiana do solo. Na tentativa de buscar novamente o equilíbrio do solo, ocorreu um aumento na taxa de respiração e no consumo de energia para metabolizar os nutrientes disponíveis.

Quanto aos grupos microbianos, não houve diferença significativa para nenhum dos grupos observados quanto a interação entre ambiente e profundidade (Anexo C). Os resultados obtidos para densidade dos grupos de microrganismos quanto ao fator ambiente e profundidades, analisados separadamente, podem ser vistos na tabela 5.

Tabela 5 – Média e comparação de médias para os atributos microbiológicos (grupos microbianos), para os fatores ambiente e profundidade, relativo à primeira época (E1: 08 de setembro de 2014) de coleta.

Ambiente	Celulolíticos	Amonificantes	Desnitrificantes	Nitritador	Nitratador	Solubilizador de Fosfato
Q	7,84	6,34	3,86	4,06	3,70	3,66 b
NQ	7,78	6,32	3,76	4,24	3,73	4,14 a
Profundidade (cm)						
0-5	8,00	6,75	3,50 b	3,79	3,81	3,84
5-10	7,79	6,05	3,63 ab	4,37	3,46	3,98
10-20	7,64	6,19	4,30 a	4,30	3,86	3,89

*Valores seguidos de letras diferentes, diferem entre si na coluna pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Em relação ao ambiente, observou-se que apenas os microrganismos solubilizadores de fosfato apresentaram diferença significativa, sendo o maior valor referente ao ambiente não queimado. Quanto a profundidade, apenas os microrganismos desnitrificantes apresentaram variação, sendo que a profundidade de 10-20 cm possui o maior valor, porém não diferindo significativamente da profundidade de 5-10 cm que, por sua vez, não diferiu da profundidade de 0-5 cm.

Silva Filho e Vidor (1984), avaliando o efeito de diferentes práticas de manejo do solo sobre a população microbiana, constataram que a queimada apresentou tendência de redução na população de bactérias e solubilizadores em sistemas de plantio convencional. A população bacteriana foi reduzida a aproximadamente 50 %, a população de solubilizadores, em solo não queimado, apresentou 57×10^4 propágulos/g solo seco, e em solo queimado, 30×10^4 propágulos/g solo seco, corroborando os valores encontrados para solubilizadores de fosfato neste presente trabalho. Os autores afirmam que essa redução pode estar associada à perda de nutrientes decorrentes da queimada, diminuindo assim a disponibilidade destes para os microrganismos, causando a redução da população. Pineda e Lizarazo-Forero (2013), também constataram redução da população de microrganismos solubilizadores de fosfato em solos queimados e os autores afirmam que estes resultado se deve ao efeito da queimada também nos atributos físicos e químicos do solo, que causam o estresse do mesmo. Fatores que talvez expliquem também os resultados encontrados no presente trabalho, uma vez que o atributo físico e alguns atributos químicos avaliados mostraram-se sensíveis ao efeito do fogo.

Exceto solubilizadores de fosfato, que mostrou-se sensível à queimada, a sensibilidade dos demais indicadores pode ser considerada baixa. Não se pode afirmar que a queimada possui baixo impacto nos microrganismos do solo, pois, conforme observado anteriormente, a biomassa microbiana, a atividade e o qCO_2 , atributos diretamente relacionados aos processos microbiológicos, apresentaram-se sensíveis ao mesmo. No entanto, pode-se dizer que a queimada, no ambiente estudado, não foi suficientemente capaz de afetar os grupos microbiológicos estudados, talvez por se tratar de área de pastagem composta por vegetação rasteira onde, devido à baixa quantidade de material combustível, o efeito da queimada pode ser considerado baixo em virtude da rapidez em que ocorre, caracterizando uma queimada de pequeno porte, afetando, principalmente, a superfície do solo (WHITE et al. 2014).

5.2 Segunda época de coleta

5.2.1 Atributo físico do solo

O atributo físico avaliados foi a estabilidade de agregados, através da determinação do DMG e DMP, não houve diferença significativa quanto à interação entre ambiente e profundidade (Anexo A). Porém, quanto ao fator ambiente, é possível observar que os valores para o ambiente não queimado são maiores quando comparados ao ambiente queimado, diferindo estatisticamente para ambos os atributos analisados, com valores de 4,46 mm e 4,82 mm no ambiente não queimado e 3,97 mm e 4,64 mm no ambiente queimado, para DMG e DMP respectivamente. Este resultado também foi obtido para a primeira época de coleta e corrobora alguns estudos realizados que também constataram que os agregados são sensíveis à ação do fogo.

Salton et al. (2008), avaliando agregação e estabilidade de agregados em sistemas agropecuários, também constataram maior DMP em sistemas de pasto permanente. Os autores afirmam que este resultado se deve ao crescimento e a atividade do sistema radicular das gramíneas, que são maiores em ambientes em que não foi aplicado nenhum sistema de manejo do solo. Afirmam, ainda, que o aporte de C ao solo, pelas raízes, é importante para a formação de macroagregados. Os menores valores de DMP foram encontrados em sistemas de lavoura convencional. Estes resultados corroboram os encontrados no presente estudo e podem explica-los, uma vez que o ambiente não queimado também não recebeu nenhum outro tipo de manejo.

Neste sentido, Wohlenberg et al. (2004), avaliando a dinâmica de agregação do solo, constataram que a estabilidade dos agregados estava fortemente ligada à matéria orgânica. À medida que diminui o teor de matéria orgânica no solo decresce a estabilidade de agregados. Os autores encontraram maior estabilidade de agregados em campo natural e a menor em solo exposto, devido principalmente, ao intenso preparo do solo. Observaram também que os maiores índices de estabilidade de agregados foram encontrados em sistemas de cultivo que aportavam matéria orgânica e cobriam o solo durante todo o ano, corroborando também os resultados do presente estudo.

Mehdi et al. (2012), avaliando o efeito dos níveis de severidade do fogo nas propriedades físicas e químicas no solo de floresta, constataram que após a queima a estabilidade de agregados do solo também foi comprometida devido à perda de matéria orgânica. Os autores afirmaram, ainda, que mesmo após um ano da queima e nos locais onde se observou alta severidade do fogo, houve impacto negativo sobre os atributos físicos e

químicos do solo. Em contrapartida, no local onde se observou fogo de baixa severidade, não houve diferença significativa entre os atributos observados neste local e no ambiente controle.

5.2.2 Atributos químicos do solo

Não foi observada diferença significativa na interação entre os fatores ambiente e profundidade para nenhum dos atributos avaliados, porém, para o fator ambiente, observou-se diferenças significativas entre alguns atributos (Anexo B). O teor de matéria orgânica (Tabela 6) nos dois ambientes avaliados não apresentou diferença significativa e, após seis meses da ocorrência da queimada, os teores encontrados ainda são considerados baixos, de acordo com a Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004).

Tabela 6 - Média e comparação de médias para os atributos químicos, para os fatores ambiente e profundidade, relativo à segunda época (E2: 27 de março de 2015) de coleta.

Ambiente	pH	K		P		Ca		Mg		Al		H+Al
		mg/dm ³		cmol/dm ³		cmol/dm ³		cmol/dm ³				
Q	4,66 b	78,93	4,37 a	0,83	0,46 b	1,29 a	7,22 a					
NQ	4,92 a	68,80	1,87 b	1,09	0,65 a	0,68 b	5,16 b					
Profundidade (cm)												
0-5	4,93	91,00 a	3,60	1,18	0,72 a	0,71 b	5,62					
5-10	4,78	72,80 ab	3,49	0,96	0,53 ab	1,02 ab	6,24					
10-20	4,66	57,80 b	2,26	0,74	0,42 b	1,23 a	6,69					
Ambiente	SB	t		T		V		m		MO		P-Rem
		cmolc/dm ³		%		%		dag/kg		mg/L		
Q	1,49	2,79	8,71 a	18,51 b	49,37 a	2,06	19,18 b					
NQ	1,92	2,60	7,07 b	28,75 a	27,87 b	2,09	24,53 a					
Profundidade (cm)												
0-5	1,92	2,84	7,76	29,90	26,92 b	2,27	23,77 a					
5-10	1,89	2,70	7,92	22,80	40,21 ab	2,08	21,35 ab					
10-20	1,31	2,54	8,00	18,20	48,74 a	1,89	20,43 b					

*Valores seguidos de letras diferentes, diferem entre si na coluna pelo teste de Tukey a 5% de significância.

K = potássio, P = fósforo, Ca = cálcio, Mg = magnésio, Al = alumínio, H+Al = acidez potencial, SB = saturação por bases, t = CTC efetiva, T = CTC_{pH7}, V = índice de saturação por base, m = índice de saturação por alumínio, MO = matéria orgânica e P-Rem = fósforo remanescente.

O teor de alumínio (Al), acidez potencial (H+Al) e saturação por alumínio (m) variaram significativamente entre os ambientes, sendo que o ambiente queimado apresentou os maiores valores, seis meses após a queima. Resultado semelhante ao encontrado por Iwata et al. (2012), em que os autores também constataram teores elevados de Al no solo queimado cinco meses após a queima. O teor de Mg também foi significativo, sendo os maiores valores encontrados no solo não queimado.

De encontro a estes resultados e avaliando o impacto da queima sob os atributos químicos no solo e na vegetação, Dick et al. (2008) também encontraram teores de Al mais elevados e teores de Mg inferiores, ambos no solo queimado, até a profundidade de 20 cm, oito anos após a queima. O solo apresentou-se mais pobre em nutrientes e com maior saturação por alumínio do que o solo que não passou pelo processo de queima, resultados que corroboram os encontrados no presente trabalho. Os autores justificam a elevação no teor de Al justamente pela redução nos teores de Ca, Mg e K encontrados no ambiente queimado. Quanto a concentração de K, na camada superficial (0-5 cm) em pasto queimado, o teor foi inferior ao pasto natural não queimado com, respectivamente, 126,7 e 285 mg dm⁻³. Os autores justificaram esse resultado pela perda de K presentes nas cinzas em virtude de escoamento superficial ocorrido nesse ambiente.

Os resultados demonstraram também que os teores de P e P-Rem diferiram entre si, sendo para P o maior valor observado no solo queimado e para P-Rem o maior valor no solo não queimado. Porém, somente o P-Rem variou quanto ao fator profundidade, sendo o maior valor encontrado na camada mais profunda (10-20 cm). Este resultado foi contrário ao encontrado por Lisbôa e Miranda (2014), avaliando atributos físicos e químicos em solos submetidos a diferentes manejos. Os autores observaram que mesmo solos submetidos a queimadas constantes não apresentaram variação nos teores de P.

Porém, outros autores constataram a alteração nos teores de P em solos submetidos a queimadas e que estas alterações permanecem ao longo do tempo, conforme observado no presente estudo. Neste sentido, em estudo avaliando o efeito da queima nas características químicas e biológicas do solo, Pomianoski, Dedecek e Vilcahuaman (2006) constataram que um ano após a queima, o teor de P permaneceu elevado e que os demais nutrientes retornaram a valores similares aos observados antes da queima, na camada mais superficial. Resultado similar foi encontrado por Litton e Santelices (2003), que também encontraram maiores teores de P em solos queimados, sendo a diferença significativa para a profundidade de 0-5 cm. Os maiores valores foram constatados dez meses após a queima, com tendência de queda nos meses subsequentes. Iwata et al. (2012) também constataram que o teor de P permaneceu elevado na segunda época de coleta, período chuvoso (março), e identificaram maiores teores em solos submetidos à queima.

Capogna et al. (2009), avaliando o efeito de diferentes intensidades de fogo sobre os atributos químicos e biológicos nos componentes do solo, observaram que a concentração de P disponível aumentava proporcionalmente à intensidade, e os maiores valores encontrados no estudo foram 245 dias após a queima. Os autores justificaram o aumento, principalmente,

pela liberação de P por combustão da matéria orgânica, estimulada pela queima intensa, não sendo constatada perda aparente deste elemento, devido à sua elevada temperatura de volatilização, que, de acordo com Neary et al. (1999) é de aproximadamente 774 °C. O que pode explicar também os maiores teores de P encontrados no ambiente queimado também no presente estudo.

5.2.3 Atributos microbiológicos do solo

Quanto a interação entre os fatores ambiente e profundidade, houve diferença significativa apenas para o grupo de solubilizadores de fosfato. Porém, para o fator ambiente, houve diferença significativa para os atributos biomassa, atividade, qCO₂, celulolíticos, desnitrificante e, novamente, para solubilizadores de fosfato. E para o fator profundidade, somente os grupos de microrganismos desnitrificantes e nitratores apresentaram variação significativa (Anexo C). Neste sentido, foi possível observar na tabela 7 que os valores de biomassa encontrados no ambiente queimado foram superiores ao ambiente não queimado e o inverso ocorreu com o atributo atividade e qCO₂, onde os maiores valores foram encontrados no ambiente não queimado.

O valor encontrado para biomassa microbiana no ambiente não queimado foi 51,64 % menor do que o valor encontrado no ambiente queimado, porém a atividade microbiana foi menor. Para esse caso, o quociente metabólico do ambiente queimado apresentou valores 90,63 % menores do que o ambiente não queimado. O teor elevado de biomassa e a baixa atividade corroboram para valores baixos de qCO₂, indicando que o solo está em equilíbrio (EVANGELISTA et al., 2013). Contrariamente, conforme esses autores, o alto teor de qCO₂ no ambiente não queimado pode indicar estresse microbiano no solo.

Tabela 7 - Média e comparação de médias para os atributos microbiológicos, para o fator ambiente, relativo à segunda época (E2: 27 de março de 2015) de coleta.

Ambiente	Biomassa Cmic (µC/g terra seca)	Atividade mg CO ₂ /g de solo	qCO ₂ mg C-CCO ₂ /g de solo
Q	1288,31 a	34,49 b	0,03 b
NQ	623,05 b	50,78 a	0,32 a

*Valores seguidos de letras diferentes, diferem entre si na coluna pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A elevação da biomassa microbiana no ambiente queimado deva-se, talvez, à maior presença de vegetação sobre o solo, já que na segunda época de coleta a vegetação neste ambiente estava bem desenvolvida. Segundo Evangelista et al. (2013), a presença de vegetação e, conseqüentemente, do sistema radicular, resulta em uma maior liberação de

exsudatos no solo, proporcionando o aumento das populações de microrganismos e, por consequência, da biomassa microbiana.

Em estudo sobre o efeito da queima no C, N e biomassa microbiana do solo, Palese et al. (2004), avaliando o solo sob diferentes temperaturas, constataram valores de biomassa elevados tanto 12 quanto 18 meses após a ocorrência da queimada, porém, sempre menores do que o tratamento controle, sem queima. À temperatura de 102 °C, o teor de biomassa, 12 meses após a queimada, era de 908 mg C/g solo seco, enquanto o tratamento controle apresentava 1830 mg C/g solo seco. O alto valor de biomassa microbiana encontrada no tratamento controle foi justificado pelos autores pelo alto teor de C orgânico do solo não queimado, sendo 147 g kg⁻¹. O oposto foi observado neste trabalho, onde o teor de biomassa, seis meses após a queimada, no ambiente queimado foi maior do que no ambiente não queimado. Cabe reforçar que o ambiente não queimado se caracteriza como pasto extensivo, que não recebeu nenhum aporte nutricional ao longo da pesquisa.

Já Rutigliano et al. (2007) também constataram aumento da biomassa, porém durante os três primeiros meses após a queimada. Os autores justificaram o resultado pela variação da diversidade funcional do solo observada nas primeiras semanas depois da queima. Durante o mesmo período, foi constatado um aumento do qCO₂, indicando, de acordo com os autores, uma reduzida eficiência microbiana na utilização do C disponível. Anderson et al. (2004), também constataram aumento do C microbiano no solo queimado quando comparado ao não queimado 90 dias após a queima. De acordo com os autores, o resultado se deu devido ao aumento na concentração de C orgânico e NO₃⁻ depois da queima. O teor da biomassa microbiana manteve-se elevado 210 dias (sete meses) após a queimada.

Quanto à atividade, Evangelista et al. (2013), avaliando os atributos microbiológicos na cultura de cana-de-açúcar sob diferentes manejos, constataram a influência da queimada sobre este atributo. A atividade microbiana foi maior logo após a queimada (0,613 mg de C-CO₂ kg⁻¹ solo h⁻¹) e seis meses depois foi constatada uma redução do valor (0,400 mg de C-CO₂ kg⁻¹ solo h⁻¹), com valores sempre maiores do que o controle. De acordo com os autores, a queima diminuiu a oferta de compostos mineralizáveis pelos microrganismos do solo, promovendo a competição e indicando o estresse do ambiente. Este resultado discorda do resultado encontrado no presente trabalho onde, seis meses após a queimada, a atividade encontrada no ambiente não queimado foi significativamente maior do que no ambiente queimado.

Ainda no trabalho de Evangelista et al. (2013), o valor de qCO₂ encontrado logo após a queimada, nos ambientes submetidos ao manejo, era 69,01 % maior do que os demais

tratamentos observados. Após seis meses, o comportamento foi o mesmo, sendo o teor de qCO_2 encontrado 49,07 % maior quando comparado aos demais tratamentos. Resultado também contrário ao observado neste trabalho, onde seis meses após a queimada, o ambiente queimado apresentou valor de qCO_2 significativamente menor do que o ambiente não queimado.

Nunes, Araújo Filho e Menezes (2006), avaliando o impacto da queimada e do pousio sobre a qualidade de um solo em caatinga, constataram que logo após a queima a taxa de qCO_2 era bastante elevada, sendo o valor encontrado de $0,69 \mu g$ de $CO_2 \mu g$ de biomassa d^{-1} , e com o passar do tempo a taxa foi decaindo, entrando em equilíbrio novamente, atingindo o valor de $0,11 \mu g$ de $CO_2 \mu g$ de biomassa d^{-1} após cinco anos em pousio, valor semelhante ao encontrado pelos autores em mata natural ($0,13 \mu g$ de $CO_2 \mu g$ de biomassa d^{-1}). O qCO_2 indica a condição do solo, e quanto menor o valor, mais o solo está sob equilíbrio (EVANGELISTA et al., 2013). Os autores constataram que, com o pousio de cinco anos, ocorreu um reestabelecimento da qualidade do solo.

Quanto aos grupos microbianos (Tabela 8), para o fator ambiente, os maiores valores para celulolíticos foram observados no ambiente queimado, enquanto para os desnitrificantes, no ambiente não queimado. Avaliando os grupos que apresentaram diferença estatística entre as profundidades, o grupo dos desnitrificantes apresentou o maior valor na profundidade de 5-10 cm e o menor valor na camada mais superficial (0-5 cm). O grupo dos nitratores apresentou maior valor na profundidade de 0-5 cm e menor valor para a camada mais profunda (10-20 cm).

Tabela 8 – Média e comparação de médias para os atributos microbiológicos (grupos microbianos), para os fatores ambiente e profundidade, relativo à segunda época (E2: 27 de março de 2015) de coleta.

Ambiente	Celulolíticos	Amonificantes	Desnitrificantes	Nitritador	Nitrador	Solubilizadores de Fosfato
Q	8,60 a	5,65	3,64 b	5,46	3,43	3,59
NQ	6,94 b	6,00	4,11 a	6,44	3,33	4,05
Profundidade (cm)						
0-5	7,88	5,63	3,46 b	5,88	3,86 a	3,66
5-10	7,93	5,82	4,13 a	6,03	3,28 ab	3,85
10-20	7,49	6,01	4,04 ab	5,94	3,01 b	3,95

*Valores seguidos de letras diferentes, diferem entre si na coluna pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Quanto ao grupo dos microrganismos celulolíticos, Castro et al. (1993), avaliando a atividade de microrganismos do solo em diferentes sistemas de manejo de soja, utilizando plantio direto e plantio convencional, constataram que a população de microrganismos

celulolíticos apresentou, no manejo com plantio direto, maior valor quando comparado ao resultado observado no plantio convencional. Os autores justificaram tal fato pela incorporação da palha, que em plantio direto é mantida sobre o solo, proporcionando a decomposição mais lenta e mantendo este substrato de carbono por mais tempo no ambiente.

Tal observação pode, talvez, explicar o aumento de celulolíticos neste presente trabalho, uma vez que o ambiente queimado apresentava, na segunda época de coleta, vegetação bastante desenvolvida enquanto o ambiente não queimado apresentava vegetação mais rasteira. Possivelmente, o ambiente queimado apresentava maior quantidade de material vegetal sobre o solo, possibilitando o aumento da comunidade decompositora de celulose.

Para o grupo dos microrganismos desnitrificantes, o resultado pode estar associado à maior ocorrência de chuvas na segunda época de coletas. Segundo Paula (2008), alterações no ambiente como fortes chuvas ou irrigação excessiva são fatores relacionados com o aumento da taxa de desnitrificação no solo. No referido estudo, avaliando atributos microbiológicos em áreas de pastagem irrigação excedente, constatou-se uma elevação de 45 % na densidade populacional de microrganismos desnitrificantes em ambiente com lâminas de 100 % de excesso de irrigação. De acordo com o autor, a redução ou limitação de O₂, fato comum em áreas irrigadas constantemente, causa o aumento da ação de microrganismos desnitrificantes.

Quanto à interação entre os fatores, os resultados para o grupo dos solubilizadores de fosfato estão presentes na tabela 9. Observa-se que as profundidades que apresentaram valores significativos foram 0-5 cm e 5-10 cm, sendo os maiores valores observados no ambiente não queimado. Quanto à comparação das profundidades dentro dos ambientes, somente para o ambiente queimado houve diferença significativa, sendo o maior valor encontrado na profundidade de 10-20 cm, com diferença entre as demais profundidades que por sua vez não diferiram entre si.

Tabela 9 - Interação entre ambientes e profundidade referente à segunda época de coleta (27/03/2015), para o grupo de microrganismos solubilizadores de fosfato

Ambiente	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm
Q	3,31 Bb	3,46 Bb	4,00 Aa
NQ	4,00 Aa	4,24 Aa	3,90 Aa

*Valores seguidos de letras maiúsculas e diferentes, diferem entre si na coluna e valores seguidos de letras minúsculas e diferentes, diferem entre si na linha, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Corroborando o resultado do presente estudo e estudando grupos funcionais de microrganismos em solos perturbados por incêndios florestais ocorridos há dose meses, Pineda e Lizarazo-Forero (2013) constataram efeito significativo da queima sobre as bactérias solubilizadoras de fosfato, sendo que os maiores valores foram constatados para o solo não

queimado. Os autores relataram que esta diferença não pode ser atribuída somente à queima, uma vez que possam ter ocorrido variações ambientais nos locais avaliados. Porém, segundo os autores, a diminuição do número de bactérias solubilizadoras de fosfato em solo queimado pode ser explicada pelo estresse químico e físico sofrido pelo solo após incêndios. O que pode também explicar o resultado do presente estudo, uma vez que alguns atributos físicos e químicos também se mostraram sensíveis ao efeito da queimada.

Resultado similar foi encontrado por Sáenz e Varela (2007), em estudo sobre o efeito de um incêndio florestal sobre grupos funcionais bacterianos edáficos em plantação de eucalipto. No referido estudo, foram efetuadas coletas de solo 5, 7 e 9 meses após a ocorrência do incêndio, onde os autores constataram o efeito negativo da queima sobre as bactérias fixadoras de nitrogênio e as bactérias solubilizadoras de fosfato em todas as coletas realizadas, sendo os maiores valores constatados no ambiente não queimado. Os autores observaram, ainda, uma correlação positiva entre a abundância de bactérias e alguns atributos físico-químicos como a quantidade de MO e a umidade do solo, onde tais atributos diminuiriam juntamente com a abundância de bactérias.

5.3 Comparação entre as épocas

As médias de todos os atributos do solo foram utilizadas para análise de componentes principais, cujo resultado está apresentado na figura 6. Nesse sentido, os componentes principais 1 e 2 explicaram 81,8 % da variância total dos dados para a primeira época de coleta, sendo 58 % do CP1 e 23,8 % do CP2; e 82,3 % da variância total dos dados para a segunda época de coleta, com 54,7% no CP1 e 27,6 % no CP2. Dessa forma, somente os eixos 1 e 2 foram apresentados. Para ambas as épocas de coleta, os atributos físicos e químicos tiveram forte relação com o eixo 1 (CP1) e os atributos microbiológicos com o eixo 2 (CP2) (Anexo D).

Pela figura 5 é possível observar que, em ambas as épocas de coleta, o solo queimado na camada mais superficial (QP1) apresenta relação maior com o eixo 2 (atributos microbiológicos) e o solo não queimado, na mesma profundidade (NP1), apresenta relação maior com o eixo 1 (atributos físicos e químicos). Em destaque na figura 6A (borda cheia), observam-se os ambientes queimado e não queimado da profundidade de 0-5 cm, respectivamente QP1 e NP1, para a primeira época de coleta, onde a atuação da queimada foi significativamente maior. Comprova-se, dessa forma, a maior relação dos indicadores K, P, t,

celulolíticos e quociente metabólico (qCO_2) com a primeira profundidade do ambiente queimado.

Observa-se o efeito favorável da queima ao aumento da disponibilidade de P no solo e desfavorável à biomassa microbiana, levando a um aumento do estresse microbiológico (qCO_2), conforme previamente observado (Figura 5). Neste sentido, observa-se também o distanciamento do ambiente queimado com relação aos grupos microbianos ligados ao ciclo do nitrogênio (nitritadores, nitratores e desnitrificantes), além dos solubilizadores de fosfato. O grupo dos solubilizadores de fosfato foi, na primeira época de coleta, o único grupo que apresentou, no ambiente queimado, resultado inferior e significativo quando comparado ao ambiente não queimado (Tabela 5).

Já na segunda época de coleta (Figura 6B), seis meses após a queimada, nas mesmas profundidades (QP1 e NP1) observou-se proximidade das duas áreas, evidenciando semelhança dos valores estudados dos atributos. O ambiente queimado (QP1) ainda apresentou forte relação com P e também com a biomassa microbiana, indicando a recuperação deste atributo. Foi possível observar, também, que os grupos microbianos ligados ao ciclo do nitrogênio foram negativamente afetados no ambiente queimado, o mesmo ocorrendo com os valores dos solubilizadores de fosfato que, na segunda época de coleta, foram inferiores no ambiente queimado, quando comparados aos do ambiente não queimado.

Comparando-se as duas épocas de coleta, observa-se que a biomassa microbiana e o qCO_2 foram atributos sensíveis à queima. Na primeira época de coleta (logo após a queimada), o valor de qCO_2 elevado e a diminuição da biomassa microbiana indicavam o estresse microbiano do ambiente. Já na segunda época de coleta houve aumento no teor de biomassa e diminuição do qCO_2 , indicando uma recuperação do ambiente, seis meses após a queimada. A biomassa microbiana mostrou-se, portanto, sensível ao efeito imediato da queima, com rápida recuperação em seis meses. O teor de P manteve-se mais próximo do ambiente queimado nas duas épocas e com valores significativamente diferentes do ambiente não queimado, como já descrito (Tabelas 1 e 4). O mesmo foi observado por Litton e Santelices (2003), que também observaram maiores teores de P nas parcelas queimadas, para as coletas realizadas 2 e 9 meses após a queima.

O ambiente não queimado não apresentou significativas alterações entre as duas épocas de coleta, refletindo uma estabilidade da sua qualidade do solo, possivelmente pelo subpastejo observado (reduzido número de animais pastejando por unidade de área) e não aplicação de nutrientes no período observado.

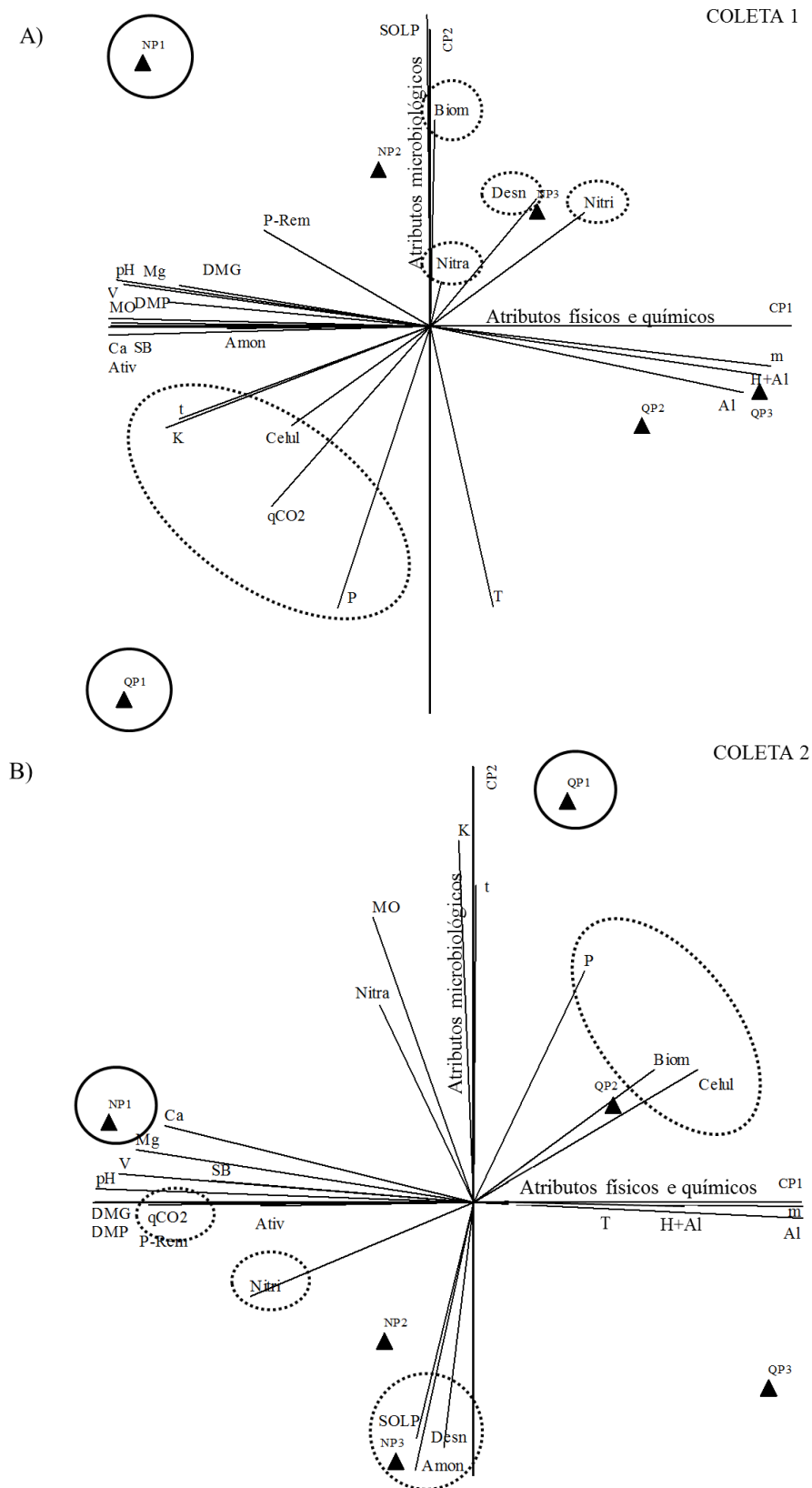


Figura 4 – Resultado da análise dos componentes principais para os atributos físicos (DMG e DMP), atributos químicos (pH, K, P, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, t, T, V, m, M. O. e P-Rem) e microbiológicos (Biom – biomassa microbiana, qCO₂ – quociente metabólico, Ativ – atividade microbiana, Celul – celulolíticos, Amon – amonificantes, Desn – desnitrificantes, Nitri – nitrificantes, Nitra – nitrificantes e SOLP – solubilizadores de fosfato) obtidos das áreas de estudo.

Para ambos os ambientes, as demais profundidades não apresentaram significativas alterações quanto à queimada e as respectivas épocas de coleta. Para o ambiente não queimado, as profundidades 5-10 e 10-20 cm (NP2 e NP3) mantiveram maior relação com o eixo 2, relacionado aos atributos microbiológicos, principalmente ligados aos grupos do ciclo do nitrogênio. Já as mesmas profundidades no ambiente queimado (QP2 e QP3) apresentaram maior correlação com o eixo 1, ligado aos atributos físicos e químicos, principalmente os que se referem ao alumínio. Tais resultados indicaram que a queima teve efeito imediato e superficial, com recuperação de alguns atributos e manutenção no resultado de outros seis meses após a queimada.

Docherty et al. (2012), avaliaram a resposta microbiana do solo à queimada e a interação dos fatores de mudança global em pastos durante 4 anos consecutivos à queima. Os autores constataram que houve resposta de porções específicas da comunidade microbiana do solo como resultado da queimada, mas tais respostas não persistiram após três anos. Nove meses após a queimada e, posteriormente, 21 meses após a queimada, observou-se seu efeito sobre a comunidade microbiana, sendo especialmente a diminuição da abundância relativa de bactérias gram-positivas lipídicas no solo queimado quando comparado ao não queimado. Os autores relacionaram a redução de bactérias gram-positivas lipídicas à diminuição na abundância de bactérias amonificantes-oxidantes e da taxa de nitrificação, indicando o efeito em longo prazo da queima sobre a função microbiana e bioquímica do solo. Esse resultado também foi observado neste trabalho, em que verificou-se o efeito da queimada sobre a comunidade microbiana, sendo os maiores efeitos observados logo após a queima (primeira época de coleta) e com recuperação de alguns atributos seis meses depois (segunda época de coleta).

Litton e Santelices (2003), avaliando o efeito de uma queima acidental nas propriedades físicas e químicas do solo de floresta, constataram que o teor de fósforo foi maior no solo queimado em todos os períodos amostrados (2, 9, 14 e 21 meses após a queima), com maiores valores nas coletas realizadas em 2 e 9 meses após a queima, devido à deposição pelas cinzas. Esse resultado foi similar ao constatado no presente estudo. Neste mesmo sentido, Capogna et al. (2009) estudando o efeito de duas intensidades de fogo sobre componentes químicos e biológicos durante dois anos, comparando com uma área controle, constataram que o teor de P aumentou proporcionalmente com a intensidade do fogo e permaneceu em todos os períodos amostrais. De acordo com os autores, a queimada promoveu a liberação de P por combustão da matéria orgânica e a mineralização, não havendo perda aparente deste elemento.

Também Kennard e Gholz (2001), avaliando o efeito do fogo de alta e baixa intensidade (707 e 225 °C respectivamente) nas propriedades do solo e plantas de uma floresta, constataram que a queimada, em ambas as intensidades aumentaram significativamente os teores de P, Mg, K e Ca na camada mais superficial do solo. No tratamento de alta intensidade, observou-se um aumento do nitrato no solo após a queimada, cujos resultados foram explicados pelos autores como provável aumento na taxa de nitrificação. Observou-se também um aumento no nível de N em ambos os tratamentos queimados, com aumento proporcional à intensidade. Dezoito meses após a queimada, observou-se um decréscimo na concentração de cátions, demonstrando, de acordo com os autores, a vulnerabilidade e suscetibilidade à lixiviação.

Dessa forma, fica evidente que o efeito da queimada nos atributos físicos, químicos e microbiológicos é variável em função dos sistemas estudados. Para o presente estudo, o impacto imediato da queima (primeira época de coleta) e, posteriormente, aos seis meses (segunda época de coleta) afetou ora positiva e ora negativamente diversos atributos relacionados à qualidade do solo, cujas respostas podem ser utilizadas para melhor definir aqueles com maior potencial de utilização como indicadores em sistemas de pastagem que utilizam da queimada como forma de manejo.

6 CONCLUSÃO

A queimada, mesmo superficial, afeta diretamente a qualidade do solo de pastagem, avaliada por atributos físico, químicos e microbiológicos, nas duas épocas de coleta.

Pela sensibilidade apresentada, os atributos físicos, DMG e DMP, os atributos químicos, teores de P e Mg e os microbiológicos, solubilizadores de fosfato, biomassa e qCO_2 , são recomendados como indicadores da qualidade do solo em programas de manejo onde a queimada é utilizada ou em monitoramento de áreas submetidas ao fogo.

REFERÊNCIAS

- ALIZADEH, O. Effect of Plant Growth Promoting Bacteria on Crop Growth. **American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture**, Paquistão, v. 5, n. 3, p. 344-349, 2011.
- ANDERSON, J. P. E. Soil respiration. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. **Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties**, 2 ed, Soil Science Society of America, Madison, p. 831-845, 1982.
- ANDERSON, M.; MICHELSEN, A.; JENSEN, M.; KJØLLER. Tropical savannah woodland: effects of experimental fire on soil microorganisms and soil emissions of carbon dioxide. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 36, p. 849-858, 2004.
- ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Soil microbial biomass: The eco-physiological approach. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.42, p.2039-2043, 2010.
- ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.25, p.393-395, 1993.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**. Uberlandia. v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.
- BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems. **Biology and Fertility of Soils**, v. 38, p. 15-20, 2003.
- BARREIRO, A.; MARTIN, A.; CARBALLAS, T.; DÍAZ-RAVIÑA, M. Response of soil microbial communities to fire and fire-fighting chemicals. **Science of the Total Environment**, v. 408, p. 6172-6178, 2010.
- BONFIM, V. R.; RIBEIRO, G. A.; SILVA, E.; BRAGA, G. M. Diagnóstico do uso do fogo no entorno do parque estadual da Serra do Brigadeiro (PESB), MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, p. 87-94, 2003.
- BORCHERT, M. I.; ODION, D. C. Fire intensity and vegetation recovery in Chaparral: a review. In: **Brushfires in California: Ecology and Resource Management**, eds J. E. Keeley; T. Scott, International Association of wildland fire, Fairfield, WA, 220 p. 1995.
- BRASIL. **Decreto n. 2661, de 8 de julho de 1998**. Regulamenta o parágrafo único do art. 27 da Lei n° 4771, de 15 de setembro de 1965. Coletânea de Legislação e Jurisprudência. Brasília. 1998.
- CAPOGNA, F.; PERSIANI, A. M.; MAGGI, O.; DOWGIALLO, G.; PUPPI, G.; MANES, F. Effects of different fire intensities on chemical and biological soil components and related feedbacks on a Mediterranean shrub (*Phillyrea angustifolia* L.). **Plant Ecology**, v. 204, n. 2, p. 155-171, 2009.
- CARVALHO, R. G.; MENDES, I. C.; LOVATO, P.E.; CARVALHO, A.M.; VIVALDI, L.J. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e

plântio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 661-669, 2004.

CASTRO, O. M.; PRADO, H.; SEVERO, A. C. R.; CARDOSO, E. J. B. N. Avaliação da atividade de microrganismos do solo em diferentes sistemas de manejo de soja. **Scientia Agricola**, São Paulo, v. 50, n. 2, p. 212-219. 1993.

CERRI, C. C.; VOLKOFF, B.; EDUARDO, B. P. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em latossolo amarelo da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 9, n. 1, 1985.

CERRI, C.C.; ANDREUX, F.; EDUARDO, B.P. O ciclo do carbono no solo. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. **Microbiologia do solo**. Campinas: SBCS, 1992. p.73-90.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de Eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1381-1396, 2007.

CHAWLA, P. R.; BAJAJ, I. B.; SURVASE, S. A.; SINGHAL, R. S. Microbial cellulose: fermentative production and applications. **Food Technology and Biotechnology**. Zadar, v. 47, n. 2, p. 107-124, 2009.

CHOROMANSKA, U.; DELUCA, T. H. Microbial activity and nitrogen mineralization in forest mineral soils following heating: evaluation of post-fire effects. **Soil Biology & Biochemistry**, Leicestershire, v. 34, p. 263-271, 2002.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 10 ed., Porto Alegre, 2004. 400 p.

DEENIK, J. Nitrogen mineralization potential in important agricultural soils of Hawai'i. **Soil and Crop Management**. Hawaii, p. 01-05, 2006.

DIAZ, M. C. V.; NEPSTAD, D.; MENDONÇA, M. J. C.; MOTTA, R. S.; ALENCAR, A.; GOMES, J. C.; ORTIZ, R. A. **O prejuízo oculto do fogo: custos econômicos das queimadas e incêndios florestais na Amazônia**. Relatório IPAM. 2002. 43 p.

DICK, D. P.; MARTINAZZO, R.; DALMOLIN, R. S. D.; JACQUES, A. V. A.; MIELNICZUK, J.; ROSA, A. S. Impacto da queima nos atributos químicos e na composição química da matéria orgânica do solo e na vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.5, p.633-640, 2008.

DOCHERTY, K. M.; BALSER, T. C.; BOHANNAN, B. J. M.; GUTKNECHT, J. L. M. Soil microbial responses to fire and interacting global change factors in a California annual grassland. **Biogeochemistry**, Kansas, v. 109, p. 63-83, 2012.

EGGINS, H. O. W.; PUGH, G. J. F. Isolation of cellulose-decomposing fungi from soil. **Nature**. Londres, v. 193, p. 94-95, 1961.

EKINCI, H. Effect of forest fire on some physical, chemical and biological properties of soil in Çanakkale, Turkey. **International Journal of Agriculture & Biology**, Faisalabad, v. 8, n. 1, p. 102-106, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solo. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2 ed., Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solo. **Qualidade do solo e meio ambiente**. 1 ed. Santo Antônio de Goiás, 2006a, 35 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solo. **Sistema Brasileira de Classificação de Solo**. 2 ed. Brasília, 2006b, 306 p.

EVANGELISTA, C. R.; PARTELLI, F. L.; FERREIRA, E. P. B.; PIRES, F. R. Atributos microbiológicos do solo na cultura de cana-de-açúcar sob manejo orgânico e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 1549-1562, 2013.

FARIA, A. B. C.; BLUM, C. T.; CHITSONDZO, C.; LOMBARDI, K. C.; BATISTA, A. C. 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.

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.

FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 991-996, 1999.

FERREIRA, D.F. Sisvar: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Campinas, v. 6, p. 36-41, 2008.

FERREIRA, R. F.; CARDOSO, I. C. M.; SILVA, C. F.; SOUCHIE E. L.; CARNEIRO, M. A. C. Rice response to inoculation with p-solubilizing microorganisms from brazilian cerrado. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 25, n. 5, p. 1-7, 2009.

FICHINO, B. S.; DOMBROSKI, J. R. G.; PIVELLO, V. R.; FIDELIS, A. Does fire trigger seed germination in the neotropical savanas? Experimental tests with six Cerrado species. **Biotropica**, Flórida, v. 48, n. 2, p. 181-187, 2016.

FIDELIS, A.; PIVELLO, V. R. Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos?. **Biodiversidade Brasileira**, Brasília, v. 1, n. 2, p. 12-25, 2011.

FREITAS, I. C.; SANTOS, F. C. V.; CUSTÓDIO FILHO, R. O.; CORRECHEL, V.; SILVA, R. B. Agroecossistemas de produção familiar da Amazônia e seus impactos nos atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1310-1317, 2013.

- GRAHAM, J. H.; MILLER, R. M. Mycorrhizas: Gene to function. **Plant and Soil**, Crawley, v. 274, p. 79-100, 2005.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Terra Monitoramento Análise e Alerta – TerraMA²**. 2012. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/terrama2/>. Acesso em: 14 ago. 2015.
- IWATA, B. F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; GEHRING, C.; CAMPOS, L. P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 7, p. 730-738, 2012.
- KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J.W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, Tennessee, v. 61, p. 4-10, 1997.
- KEELEY, J. E. Fire intensity, fire severity, and burn severity: a brief review and suggested usage. **International Journal of Wildland Fire**, Virginia, v. 18, p. 116-126, 2009.
- KENNARD, D. K.; CHOLZ, H. L. Effects on high- and low-intensity fires on soil properties and plant growth in a Bolivian dry forest. **Plant and Soil**, Crawley, v. 234, n. 1, p. 119-129, 2001.
- KÖPPEN, W.; GEICER, R. **Klimate der erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. (Wall-map 150 cm x x200 cm).
- LISBÔA, F. M.; MIRANDA, P. B. Análise de atributos físicos e químicos de solo submetido a diferentes manejos no sudeste paraense. **Agroecossistemas**, Pará, v. 6, n. 1, p. 1-9, 2014.
- LITTON, C. M.; SANTELICES, R. Effect of wildfire on soil physical and chemical properties in a *Nothofagus glauca* forest, Chile. **Revista Chilena de História Natural**, Santiago, v. 76, p. 529-542, 2003.
- LOUZADA, J. N. C.; MACHADO, F. S.; BERG E. O fogo como instrumento de manejo em agroecossistemas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 24, n. 220, p. 29-36, 2003.
- LUCIANO, R. V.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; KURTZ, C.; FAYAD, A. Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num cambissolo háplico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.9, n.1, p.09-19, 2010.
- MCCUNE, B.; MEFFORD M. J. **PC-ORD**. versão 5.10: Multivariate Analysis of Ecological. 2006.
- MEHDI, H.; ALI, S.; ALI, M.; MISTAFA, A. Effects of different fire severity levels on soil chemical and physical properties in Zagros forest of western Iran. **Folia Forestalia Polonica**, Cracóvia, v. 54, n. 4, p. 241-250, 2012.
- MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2461-2470, 2008.

MELLONI, R.; PEREIRA, E. G.; TRANNIN, I. C. B.; SANTOS, D. R.; MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Características biológicas de solos sob mata ciliar e campo cerrado no sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 7-13, 2001.

MELO, V. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FONTES, L. E. F.; CHAGAS, A. C.; LEMOS JÚNIOR, J. B.; ANDRADE, R. P. Caracterização física, química e mineralógica de solos da colônia agrícola do Apiaú (Roraima, Amazônia), sob diferentes usos e após queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 1039-1050, 2006.

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

NARDOTO G. B.; BUSTAMANTE, M. M. C. Effects of fire on soil nitrogen dynamics and microbial biomass in savannas of Central Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 955-962, 2003.

NEARY, D. G.; KLOPATEK, C. C.; DEBANO, L. F.; FFOLLIOTT, P. F. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. **Forest Ecology and Management**, Holanda, v. 122, p. 51-71, 1999.

NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO FILHO, J. A.; MENEZES, R. I. Q. Impacto da queimada e do pousio sobre a qualidade de um solo sob caatinga no semiárido nordestino. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.19, n.2, p.200-208, 2006.

PALESE, A. M.; GIOVANNINI, G.; LUCCHESI, S.; DUMONTET, S.; PERUCCI, P. Effect of fire on soil C, N and microbial biomass. **Agronomie**, Paris, v. 24, p. 47-53, 2004.

PAULA, A. M. **Atributos microbiológicos do solo em área de pastagem irrigada com lâminas excedentes de efluente de esgoto tratado**. 2008. 121 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

PINEDA, L. D. C.; MESA, L. A. C.; RIASCOS, C. A. M. Técnicas de fermentación y aplicaciones de la celulosa bacteriana: una revisión. **Ingeniería y Ciencia**, Bogotá, v. 8, n. 16, p. 307-335, 2012.

PINEDA, M. E. B.; LIZARAZO-FORERO, L. M. Grupos funcionales de microorganismos en suelos de Páramo perturbados por incendios forestales. **Revista de Ciencias**, Bogotá, v. 17, n. 2, p. 121-136, 2013.

POMIANOSKI, D. J. W.; DEDECEK, R. A.; VILCAHUAMAN, L. J. M. Efeito do fogo nas características químicas e biológicas do solo no sistema agroflorestal da Bracatinga. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.52, p.93-118, 2006.

REDIN, M.; SANTOS, G. F.; MIGUEL, P.; DENEGA, G. L.; LUPATINI, M.; DONEDA, A.; SOUZA, E. L. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 381-392, 2011.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, p. 29-48, 2003.

RINCÓN, L. E. C.; GUTIÉRREZ, F. A. A. Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo em suelos. **Revista Colombiana de Biotecnología**, Bogotá, v. 14, n. 1, p. 285-295, 2012.

RUTIGLIANO, F. A.; DE MARCO, A.; D'ASCOLO, R.; CASTALDI, S.; GENTILE, A.; VIRZO DE SANTO, A. Impact of fire on fungal abundance and microbial efficiency in C assimilation and mineralization in a Mediterranean maquis soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 44, p. 377-381, 2007.

SÁENZ, D. A.; VARELA, A. Efecto de un incendio forestal sobre grupos funcionales bacterianos edáficos en una plantación de Eucalipto. **Suelos Ecuatoriales**, Bogotá, V. 37, N. 1, P. 90-93, 2007.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCK, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 11-21, 2008.

SAMPAIO, F. A. R.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M.; JUCKSCH, I. Balanço de nutrientes e da fitomassa em um argissolo amarelo sob floresta tropical amazônica após a queima e cultivo com arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1161-1170, 2003.

SARATHCHANDRA, U. Nitrification activities and the changes in the populations of nitrifying bacteria in soil perfused at two different H-ion concentrations. **Plant and Soil**, Crawley, v.50, n.1, p.99-111, 1978.

SCHMIDT, E. L.; BELSER L. W. Autotrophic Nitrifying Bacteria. In: WEAVER, R. W. et al. (Ed.), **Methods of Soil Analysis**. Part 2: Microbiological and biochemical properties. Soil Science Societ of America, ed Madison, p. 159-177, 1994.

SILVA FILHO, G. N.; VIDOR, C. As práticas de manejo de solo na população microbiana. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 8, p. 291-296, 1984.

SILVA FILHO, G. N.; VIDOR, C. Atividade de microrganismos solubilizadores de fosfatos na presença de nitrogênio, ferro, cálcio e potássio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 36, n. 12, p. 1495-1508, 2001.

STORCK, L.; GARCIA, D. C.; LOPES, S. J.; ESTEFANEL, V. **Experimentação Vegetal**. 3. ed. Santa Maria: UFSM, 2011. 200 p.

SYLVESTER-BRADLEY, R.; ASAKAWA, N.; LA TORRACA, S.; MAGALHÃES, F.M.M.; OLIVEIRA, L.A. & PEREIRA, R.M. Levantamento quantitativo de microrganismos solubilizadores de fosfatos na rizosfera de gramíneas e leguminosas forrageiras na Amazônia. **Acta Amazônica**, Amazônia, v. 12, p. 15-22, 1982.

TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, R. R. M.; FERREIRA, V. M. Fertilidade química de solo sob pastagens formadas com diferentes espécies nativas e com *Brachiaria decumbens* manejadas com queimadas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.32, p.1771-1782, 2011.

THOMAZ, E. L. Influência da temperatura no diâmetro e na estabilidade de agregados em chernossolo, Saskatchewan, Canadá. **Ciencia del suelo**, Buenos Aires, v.29, n.2, p.277-284, 2011.

TIEDJE, J. M. Denitrification. In: **Methods of soil analysis**. Chemical and microbiological properties, (Agronomy Monograph), 2° ed., ed. Madison, Wisconsin, p. 1011-1026, 1982.

TRINDADE, E. F. S.; VALENTE, M. A.; MOURÃO JUNIOR, M. Propriedades físicas do solo sob diferentes sistemas de manejo da capoeira no nordeste Paraense. **Agroecossistemas**, Pará, v. 4, n. 1, p. 50-67, 2012.

UFV - CETEC - UFLA - FEAM. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010a. 49 p. Disponível em: <<http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>> Acesso em: 21 ago. 2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ – UNIFEI. **Boletim Meteorológico Ciências Atmosféricas**, set/2014, Disponível em: <<http://cat-unifei.blogspot.com.br/2014/09/boletim-meteorologico-mensal-da-unifei.html>>. Acesso em: 18/02/2016.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre a qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 743-755, 2009.

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, A. S.; WHITE, L. A. S.; RIBEIRO, G. T. Caracterização do material combustível superficial no Parque Nacional Serra de Itabaiana – Sergipe, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 699-706, 2014.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de cultura em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 891-900, 2004.

ANEXO A

Valores de probabilidade da análise de variância para os atributos físicos relacionados à primeira época de coleta (08/09/2014) e à segunda época de coleta (27/03/2015) de amostras de solo, Itajubá-MG

Fontes de variação	Primeira época		Segunda época	
	DMG	DMP	DMG	DMP
Ambiente	0,02*	0,01*	0,04*	0,03*
Profundidade	0,29 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,42 ^{ns}
Amb*Prof	0,36 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,90 ^{ns}
CV (%)	7,34	1,82	6,39	2,14

* significativamente diferente e “ns” não significativo, pelo teste F a 5 % de probabilidade.

ANEXO B

Valores de probabilidade da análise de variância para os atributos químicos relacionados à primeira época de coleta (08 de setembro de 2014), Itajubá-MG

Fontes de variação	pH	K	P	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	MO	P-Rem
Ambiente	0,16 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,01*	0,78 ^{ns}	0,03*	0,00*	0,02*	0,52 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,01*	0,17 ^{ns}	0,01*	0,35 ^{ns}	0,00*
Profundidade	0,07 ^{ns}	0,00*	0,02*	0,17 ^{ns}	0,00*	0,01*	0,01*	0,03*	0,07 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,01*	0,01*	0,00*	0,09*
Amb*Prof	0,88 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,20 ^{ns}
CV (%)	7,12	31,32	54,75	57,19	59,99	46,25	18,83	50,78	24,71	9,24	42,57	53,10	15,51	17,12

* significativamente diferente e “ns” não significativo, pelo teste F a 5 % de probabilidade.

Valores de probabilidade da análise de variância para os atributos químicos relacionados à segunda época de coleta (27 de março de 2015), Itajubá-MG

Fontes de variação	pH	K	P	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	MO	P-Rem
Ambiente	0,02*	0,31 ^{ns}	0,00*	0,14 ^{ns}	0,04*	0,00*	0,03*	0,13 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,05*	0,02*	0,00*	0,88 ^{ns}	0,00*
Profundidade	0,14 ^{ns}	0,03*	0,32 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,04*	0,03*	0,61 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,05*	0,22 ^{ns}	0,01*
Amb*Prof	0,92 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,26 ^{ns}
CV (%)	6,15	36,02	68,92	47,18	44,61	41,09	38,54	43,28	14,78	26,86	48,75	49,10	22,45	10,95

* significativamente diferente e “ns” não significativo, pelo teste F a 5 % de probabilidade.

ANEXO C

Valores de probabilidade da análise de variância para os atributos microbiológicos relacionados à primeira época de coleta (08 de setembro de 2014), Itajubá-MG

Fontes de variação	Biom.	Ativ.	qCO ₂	Celul.	Amon.	Desn.	Nitrit.	Nitrat.	Solub. P
Ambiente	0,08 ^{ns}	0,02*	0,08 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,00*
Profundidade	0,77 ^{ns}	0,00*	0,00*	0,91 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,04*	0,52 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,69 ^{ns}
Amb.*Prof.	0,01*	0,10 ^{ns}	0,00*	0,82 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,06 ^{ns}
CV (%)	30,47	20,11	4,00	24,63	12,41	8,04	17,44	15,53	9,20

* significativamente diferente e “ns” não significativo, pelo teste F a 5 % de probabilidade.

Valores de probabilidade da análise de variância para os atributos microbiológicos relacionados à segunda época de coleta (27 de março de 2015), Itajubá-MG

Fontes de variação	Biom.	Ativ.	qCO ₂	Celul.	Amon.	Desn.	Nitrit.	Nitrat.	Solub. P
Ambiente	0,00*	0,05*	0,01*	0,01*	0,17 ^{ns}	0,03*	0,07 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,00*
Profundidade	0,84 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,03*	0,97 ^{ns}	0,01*	0,16 ^{ns}
Amb.*Prof.	0,15 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,01*
CV (%)	39,46	32,32	19,68	19,65	11,74	14,91	11,45	7,99	8,72

* significativamente diferente e “ns” não significativo, pelo teste F a 5 % de probabilidade.

ANEXO D

Escores indicando a relação entre os eixos 1 e 2 com cada atributo analisado, para a primeira época de coleta (08/09/2014) e a segunda época de coleta (27/03/2015), respectivamente

Atributos	Época de Coleta 1		Época de Coleta 2	
Físicos	CP1	CP2	CP1	CP2
DMG	<u>-0,2132</u>	0,1340	<u>-0,2598</u>	-0,0060
DMP	<u>-0,2183</u>	0,1051	<u>-0,2689</u>	0,0069
Químicos				
pH	<u>-0,2388</u>	0,1418	<u>-0,2637</u>	0,0720
K	<u>-0,2188</u>	<u>-0,2112</u>	-0,0527	<u>0,3643</u>
P	-0,1297	<u>-0,3518</u>	0,1434	<u>0,2915</u>
Ca	<u>-0,2568</u>	-0,0684	<u>-0,2384</u>	0,1671
Mg	<u>-0,2358</u>	0,1369	<u>-0,2495</u>	0,1403
Al	<u>0,2385</u>	-0,1702	<u>0,2605</u>	-0,0473
H+Al	<u>-0,2447</u>	-0,1470	0,1926	-0,0214
SB	<u>-0,2590</u>	-0,0248	<u>-0,2200</u>	0,0885
T	<u>-0,2134</u>	<u>-0,2016</u>	0,0230	<u>0,3404</u>
T	0,1072	<u>-0,3514</u>	0,1498	0,0363
V	<u>-0,2559</u>	0,0638	<u>-0,2558</u>	0,1034
M	<u>0,2487</u>	-0,1311	<u>0,2571</u>	-0,0798
MO	<u>-0,2401</u>	0,0411	-0,1372	<u>0,3227</u>
P-Rem	-0,1738	<u>0,2066</u>	<u>-0,2492</u>	0,0109
Microbiológicos				
Celulolíticos	-0,1588	<u>-0,2090</u>	<u>0,2037</u>	<u>0,2203</u>
Amonificantes	-0,1918	-0,0309	-0,1048	<u>-0,3128</u>
Desnitrificantes	0,1381	<u>0,2370</u>	-0,0744	<u>-0,2995</u>
Nitritadores	0,1677	<u>0,2237</u>	<u>-0,2028</u>	-0,1861
Nitratadores	0,0469	0,1412	-0,1321	<u>0,2687</u>
Solub. Fosfato	-0,0267	<u>0,3700</u>	-0,1025	<u>-0,2937</u>
Biomassa	0,0314	<u>0,3016</u>	0,1824	<u>0,2208</u>
Atividade	<u>-0,2564</u>	-0,0175	-0,1980	-0,0376
qCO ₂	-0,1694	<u>-0,2814</u>	<u>-0,2447</u>	-0,0334

*Os valores sublinhados (>|0,2000|) indicam maior correlação dos atributos com os eixos CP1 e CP2, para ambas as épocas.