

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

ESTOQUES PARCIAIS E REDUÇÃO DE PERDA DE
CARBONO COM A SUBSTITUIÇÃO DA QUEIMADA PELA
FOSFATAGEM NUM AGROECOSSISTEMA DE *Brachiaria*
brizantha cv. Marandu EM OXISSOLO NA
AMAZÔNIA OCIDENTAL

LUIZ CARLOS DA SILVA

ORIENTADOR: Dr. FRANCISCO DE ALMEIDA LOBO

Cuiabá, MT

Mai de 2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

ESTOQUES PARCIAIS E REDUÇÃO DE PERDA DE
CARBONO COM A SUBSTITUIÇÃO DA QUEIMADA PELA
FOSFATAGEM NUM AGROECOSSISTEMA DE *Brachiaria*
brizantha cv. Marandu EM OXISSOLO NA
AMAZÔNIA OCIDENTAL

LUIZ CARLOS DA SILVA

*Tese apresentada como parte dos requisitos
para obtenção do título de Doutor em Física
Ambiental.*

ORIENTADOR: Dr. FRANCISCO DE ALMEIDA LOBO

Cuiabá, MT

Maior de 2017

D111e da Silva, Luiz Carlos.

Estoques parciais e redução de perda de carbono com a substituição da queimada pela fosfatagem num agroecossistema de *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Marandu na Amazônia Ocidental. / Luiz Carlos da Silva. -- 2017

110 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Francisco de Almeida Lobo.

Co-orientador: Fabrício Berton Zanchi.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2017.

Inclui bibliografia.

1. nutrientes. 2. perda de dióxido de carbono. 3. prática de manejo do solo. 4. pastagem. 5. sustentabilidade. I. Título.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ESTOQUES PARCIAIS E REDUÇÃO DE PERDA DE CARBONO COM A SUBSTITUIÇÃO DA QUEIMADA PELA FOSFATAGEM NUM AGROECOSSISTEMA DE *Brachiaria brizantha* cv. Marandu EM OXISSELO NA AMAZÔNIA OCIDENTAL

AUTOR: LUIZ CARLOS DA SILVA

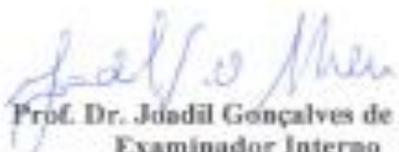
Tese de Doutorado defendida e aprovada em 25 de maio de 2017, pela comissão julgadora:



Prof. Dr. Francisco de Almeida Lobo
Orientador
Faculdade de Agronomia e Zootecnia – UFMT



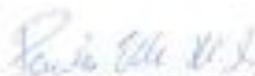
Prof. Dr. Osvaldo Borges Pinto Junior
Examinador Interno
Universidade de Cuiabá - UNIC



Prof. Dr. Joadil Gonçalves de Abreu
Examinador Interno
Faculdade de Agronomia e Zootecnia – UFMT



Prof. Dr. Higo José Dalmagro
Examinador Externo
Universidade de Cuiabá - UNIC



Prof. Dr. Paulo Eduardo de Menezes Silva
Examinador Externo
Instituto Federal Goiano/Rio Verde

DEDICATÓRIA

À minha família: meus pais Eurides Luiz da Silva e Leandrina de Souza Freitas (In Memoriam), pelo amor dedicado do qual nunca me esqueço; minha paciente esposa Alessandra e meus filhinhos Efer, Libni e Abiel: por suas singelas existências que sufocam minha solidão, dedico mais esta humilde contribuição.

AGRADECIMENTOS

À *יהוה*, o Criador: pela vida e por aquela paz que excede a todo entendimento, e por Jesus, Seu Cristo e, por isso, Meu Senhor;

À FAPEAM - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas: pelo auxílio financeiro e a bolsa de apoio técnico para realização da pesquisa;

À CAPES pelo apoio financeiro através Programa de Doutorado Interinstitucional (DINTER), convênio UFAM (receptora) e UFMT (promotora);

Ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental do Instituto de Física da Universidade Federal de Mato Grosso e à Universidade Federal do Amazonas: pelo esforço conjunto para viabilização deste curso interinstitucional;

Ao Professor-orientador, *Engenheiro Agrônomo Dr. Francisco de Almeida Lobo*: pela paciência durante a orientação;

Ao professor, *Engenheiro Agrônomo Dr. Carlos Eduardo Pereira (UFSBA)*: pela colaboração na escolha da área experimental, dentre outras;

Ao professor, *Matemático PhD. Fabrício Berton Zanchi*: pela orientação sobre as possibilidades de estruturação da tese;

Aos técnicos analistas dos Laboratórios de Solos e Plantas da Embrapa Amazônia Ocidental, em Manaus/AM, Embrapa/CPAFRO, em Porto Velho/RO, e Laboratório de Solos e Recursos Ambientais do IAC, em Campinas/SP: pela presteza em atender;

Aos técnicos analistas do Laboratório de Química e Meio Ambiente do SENAI/CIC, em Curitiba/PR: pela destreza na realização, em tempo, das análises químicas prévias do fosfato de rocha;

À gerência da SOCAL Mineradora S/A, em Registro/SP: pela doação do fosfato de rocha utilizado nesta pesquisa;

A Engenheiro Ambiental Caio Pagani que, enquanto acadêmico, mostrou boa vontade em colaborar na identificação da área experimental no interior da Fazenda Vanazzi, por meio de GPS;

Ao Sr. Paulo Vanazzi: pela boa vontade em ceder a área de sua fazenda para realização da pesquisa;

À pessoa de Sidinei Duarte: porque hoje sei que durante a breve peregrinação do homem neste mundo, por vezes, surgem aqueles amigos que, mesmo distantes, tornam-se mais que irmãos (Provérbios, 18:24), e;

A todos os que, com boa vontade, contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

*Até mesmo a corça no campo abandona a cria por falta de
pastagem (Jeremias, 14: 5).*

SUMÁRIO

X

LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xii
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	xiii
RESUMO.....	xv
<i>ABSTRACT</i>	<i>xvi</i>
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. JUSTIFICATIVA.....	2
1.2.1. Objetivos.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. DEGRADAÇÃO DAS PASTAGENS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA.....	5
2.1.1. Prática da Queimada.....	5
2.1.1.1 <i>Efeitos das Queimadas Sobre os Atributos de Fertilidade Química de Solo e de Planta nos Agroecossistemas</i>	6
2.2. Efeitos de Práticas de Melhoramento das Pastagens Sobre o Carbono e Demais Atributos de Fertilidade Química do Solo	8
2.3. Efeitos de Práticas de Melhoramento das Pastagens Sobre a Biomassa e Carbono Fixado.....	9
2.4. Fósforo nos Agroecossistemas.....	11
2.4.1. Fosfatagem com Fosfatos Parcialmente Acidulados.....	12
2.4.2. Fosfatagem e Produtividade de Biomassa nos Agroecossistemas.....	12
2.4.3 Fosfatagem e Orgânico Total nos Solos de Agroecossistemas.....	13
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA GERAL DA REGIÃO DE HUMAITÁ.....	15
3.2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO LOCAL DO EXPERIMENTO..	15
3.3. INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	16

3.3.1	Dimensionamento e Delimitação da Área Experimental Específica....	16
3.3.2.	Corte de Nivelamento e Determinação da Biomassa Superficial Inicial.....	17
3.3.3.	Delimitação e Identificação dos Blocos e Parcelas Experimentais.....	17
3.4.	AMOSTRAGEM PARA CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL ESPECÍFICA, ANTES DA INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	19
3.5.	FOSFATO DE ROCHA UTILIZADO NO EXPERIMENTO.....	20
3.6.	TRATAMENTOS.....	21
3.6.1	Aplicação de Tratamentos.....	21
3.6.1.1	<i>Queimada e Coleta da Biomassa Superficial Inicial após a Aplicação deste Tratamento.....</i>	<i>21</i>
3.6.1.2	<i>Dessecação e Aplicação dos Níveis de Fosfatagem.....</i>	<i>24</i>
3.7.	FERTILIZAÇÃO BÁSICA COM NITROGÊNIO E POTÁSSIO.....	25
3.8.	COLETA DE DADOS.....	26
3.8.1.	Mensuração do Índice Spad.....	26
3.8.2.	Determinação da Produtividade de Biomassa e Carbono de Biomassa.....	26
3.8.2.1	<i>Separação da Biomassa de lâmina foliar para Análises Químicas.....</i>	<i>27</i>
3.8.3	Coleta, Preparo de Amostras e Determinação da Biomassa de Serapilheira.....	28
3.8.4.	Quantificação da Biomassa Parcial Atual.....	28
3.8.4.1	<i>Estimativa do Carbono Fixado na Biomassa Parcial Atual.....</i>	<i>29</i>
3.8.5.	Quantificação da Biomassa Parcial Atual Remanescente.....	29
3.8.5.1	<i>Estimativa do Carbono Fixado na Biomassa Parcial Atual Remanescente.....</i>	<i>30</i>
3.8.6.	Coleta e Preparo de Amostras de Solo para Análises Químicas.....	30
3.8.7	Análises Químicas Realizadas no Solo e na lâmina foliar do pasto.....	31
3.8.8.	Teor e Estoque de Carbono Parcial Atual no Solo.....	32
3.8.9.	Estimativa dos Estoques Parcial Atual e Parcial Atual Remanescente de Carbono no Agroecossistema.....	33
3.8.10	Estimativa da Perda Evitada de Dióxido de Carbono para Atmosfera.....	34

3.9.	CONCEITOS DE MANEJO E DEGRADAÇÃO DE PASTAGEM ADOTADOS NESTE TRABALHO	34
3.10.	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	34
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1.	ANÁLISE DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLO E LÂMINA FOLIAR.....	35
4.1.1.	pH em H₂O, Acidez Potencial, Bases Trocáveis, Soma de Bases e Saturação de Bases.....	35
4.1.2.	Alumínio Trocável, Saturação por Alumínio e Capacidade de Troca de Cátions.....	37
4.1.3.	Cálcio, Magnésio e Potássio no Sistema Solo-B. <i>brizantha</i> Stapf. cv. Marandu.....	38
4.1.4.	Fósforo, Enxofre e Nitrogênio no sistema Solo-B. <i>brizantha</i> Stapf. cv. Marandu.....	44
4.1.5.	Micronutrientes Solo-B. <i>brizantha</i> Stapf. cv. Marandu.....	46
4.1.6.	Análise do Comportamento Conjunto dos Atributos Químicos de Solo e Lâmina Foliar, com Ênfase no Fósforo	50
4.2.	COMPONENTES DE PRODUTIVIDADE E CARBONO DA BIOMASSA.....	52
4.2.1.	Análise do Comportamento Conjunto das Componentes de Produtividade de Biomassa e o Fósforo.....	57
4.3.	CARBONO ORGÂNICO TOTAL E ESTOQUES PARCIAIS DO ELEMENTO NO AGROECOSSISTEMA	58
4.3.1.	Teor e Estoque Parcial de Carbono Orgânico na Camada Superficial do Solo.....	59
4.3.2.	Estoques Parcial Atual e Parcial Atual Remanescente de Carbono no Agroecossistema.....	60
5.	CONCLUSÃO.....	62
6.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	63
	REFERÊNCIAS BIBLOGRÁFICAS.....	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da Fazenda Vanazzi e área experimental no km 12 da BR 319, sentido Humaitá-Manaus, em Humaitá, Amazonas.....	16
Figura 2. Delimitação da área específica e parcela experimental no interior do bloco.....	18
Figura 3. (A) Aspecto geral das áreas das unidades experimentais do tratamento 5, e; (B) Gemas vegetativas basais, 1 dia após a queima.....	22
Figura 4. Aspecto geral da área dos tratamentos com fosfatagem sem queima da pastagem: (A) um dia antes da dessecação de perfilhos emergidos; (B) um dia após a dessecação.....	24
Figura 5. Precipitação média diária num período anterior e durante o período experimental.....	26
Figura 6. Gabarito de corte.....	27
Figura 7. Amostra indeformada de solo para análise da densidade aparente do solo.....	32
Figura 8. Médias de: (A) pH em água, (B) acidez potencial, (C) soma de bases e, (D) saturação de bases do solo em função dos tratamentos.....	37
Figura 9. Médias de cálcio trocável no solo, concentração e acumulação na lâmina foliar de <i>B. brizantha</i> Stapf. cv. Marandu em função dos tratamentos.....	39
Figura 10. Médias de potássio no solo, concentração e acumulação na lâmina foliar de <i>B. brizantha</i> em função dos tratamentos.....	40
Figura 11. Médias de fósforo e enxofre no solo, concentração e acumulação na lâmina foliar de <i>B. brizantha</i> Stapf. cv. Marandu em função dos tratamentos.....	42
Figura 12. Médias de nitrogênio e potássio no solo, concentração e acumulação na lâmina foliar de <i>B. brizantha</i> Stapf. cv. Marandu em função dos tratamentos.....	44
Figura 13. Aspecto visual da pastagem nos tratamentos aos 40 dias do início do período experimental: (A) sem aplicação de N (Sem N Q), e; (B) com aplicação de N (Com N SQ); (C) Índice Spad de A (Sem N Q) e B (N SQ).....	45
Figura 14. Médias de boro no sistema solo- <i>B. brizantha</i> Stapf. cv. Marandu em função dos tratamentos.....	47
Figura 15. Teores médios de micronutrientes no sistema solo- <i>B. brizantha</i> Stapf. cv. Marandu em função dos tratamentos.....	48

Figura 16. Produtividade de biomassa parcial atual (BPAg), biomassa de lâmina foliar (Blfo), biomassa de colmo com bainha (BCb), biomassa de serapilheira (Bser) e biomassa parcial remanescente (BPrem) de <i>Brachiaria brizantha</i> Stapf. cv. Marandu em função do tratamento.....	53
Figura 17. Teor e estoque de carbono orgânico na camada de 0,0-0,05 m do perfil do solo em função do tratamento.....	60
Figura 18. Estoques parcial atual e parcial atual remanescente de carbono no agroecossistema.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas e granulometria do fosfato de rocha parcialmente acidulado Alvorada (FA).....	20
Tabela 2. Composição de tratamentos (Tn).....	21
Tabela 3. Características químicas ¹ e físicas ² de Cambissolo Háptico Alítico cultivado com <i>B. brizantha</i> Stapf. cv. Marandu com supressão de queimada (CXSQ) e com queimada (CXQ), antes da instalação do experimento.....	23
Tabela 4. Quantidades de cálcio, magnésio, enxofre e micronutrientes aplicadas ao solo juntamente com as quantidades de fosfato de rocha parcialmente acidulada (FA) para suprir os níveis de fosfatagem (T2, T3 e T4).....	25
Tabela 5. Níveis agrônômicos de nitrogênio e potássio na forma de ureia e cloreto de potássio aplicadas em cobertura nas parcelas experimentais dos tratamentos sem queima da pastagem.....	25
Tabela 6. Resumos das análises de variância (teste F) dos atributos químicos de solo e lâmina foliar de <i>B. brizantha</i> Stapf. cv. Marandu.....	36
Tabela 7. Correlação linear de Pearson dos atributos de solo e lâmina foliar, com ênfase no fósforo.....	50
Tabela 8. Resumo das análises de variância dos componentes de produtividade de biomassa do agroecossistema de <i>B. brizantha</i> Stapf. cv. Marandu em função dos tratamentos.....	52
Tabela 9. Perda de dióxido de carbono (CO ₂) evitada com a fosfatagem em substituição à queimada em agroecossistema de <i>B. brizantha</i> cv. Marandu.....	54
Tabela 10. Correlação linear de Pearson dos componentes de produtividade de biomassa (CPB), entre si, e com o fósforo.....	58
Tabela 11. Resumo das análises de variância (teste F) do carbono orgânico total (COt) e estoques de carbono no agroecossistema de <i>B. brizantha</i> Stapf. cv. Marandu degradada	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AEE -	Área experimental específica
Al³⁺ -	Alumínio trocável, ou, a forma tóxica de alumínio no solo
B Prem -	Biomassa parcial remanescente atual no agroecossistema
BE -	Blocos experimentais
B_{lfo} -	Biomassa de lâmina foliar
BPAg -	Biomassa parcial atual no agroecossistema
BCb -	Biomassa de colmo com bainha
BPrem -	Biomassa parcial atual remanescente no agroecossistema
Bser -	Biomassa de serapilheira
Ca²⁺ -	Forma trocável ou disponível de cálcio no solo
CB_{lfo} -	Carbono da biomassa de lâmina foliar
CB_{Cb} -	Carbono da biomassa de colmo com bainha
CB_{ser} -	Carbono da biomassa de serapilheira
CN_f -	Concentração do nutriente na lâmina foliar
CO_t -	Carbono orgânico total do solo
CPAFRO -	Centro de Pesquisas Agroflorestais de Rondônia (Embrapa)
CXQ -	Cambissolo Háptico submetido aos efeitos da queimada
CTC -	Capacidade de troca de cátions do solo ou complexo de troca
Cu²⁺ -	Forma disponível de cobre no solo
CXSQ -	Cambissolo Háptico não submetido aos efeitos da queimada
Est C solo -	Estoque de carbono parcial atual da camada de 0,0 a 0,05 m do perfil do solo
EstC BPAg -	Estimativa do Estoque de carbono parcial atual no agroecossistema
EstC Brem -	Estimativa do estoque de carbono atual parcial remanescente no agroecossistema

EstC PAg -	Estoque de carbono parcial atual no agroecossistema
FA -	Fosfato de rocha parcialmente acidulada Alvorada
H + Al -	Acidez potencial do solo
IN -	Instrução Normativa
K⁺ -	Forma trocável ou disponível de potássio no solo
K₂O -	Teor de potássio na forma de óxido de potássio no fertilizante
Mg -	Mega grama
Mg²⁺ -	Forma trocável ou disponível de magnésio no solo
NAc -	Nutriente acumulado
NO₃⁻ -	Forma de nitrogênio nítrico disponível no solo
P₂O₅ -	Teor de fósforo na forma de pentóxido de fósforo no fosfato de rocha
PE -	Parcelas experimentais
pH H₂O -	pH avaliado em água na proporção 2:1
SB -	Soma de bases do solo
SENAI/CIC -	Serviço Nacional da Indústria, Unidade da Cidade Industrial de Curitiba
SO₄²⁻ -	Forma trocável ou disponível de enxofre no solo
SPAD -	Soil Plant Analysis Development
t_{tab} -	Valor de t encontrado na tabela do teste t de Student
t_c -	Valor de t calculado
TFSA -	Terra fina seca ao ar
V% -	Saturação da CTC por bases ou Saturação de bases, em %
Zn²⁺ -	Forma disponível de zinco no solo

RESUMO

DA SILVA, L.C. **Estoques parciais e redução de perdas de carbono com a substituição da queimada pela fosfatagem num agroecossistema de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em oxissolo na Amazônia Ocidental.** 2017. 110p. Tese (Doutorado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2017.

Há décadas a produção bovina no Brasil é feita às custas da degradação gradual das pastagens. As queimadas figuram dentre as causas desta degradação e sua disseminação agrava o problema. A prática dos pecuaristas de Humaitá, que utilizam a queimada para eliminar plantas daninhas e melhorar a produtividade de *B. brizantha* Stapf. cv. Marandu, contrasta com os solos descobertos, quimicamente degradados e a baixa produtividade das plantas. Em oposição a isso, surgem os tipos de manejo que aumentam a biomassa superficial, o C armazenado e a reciclagem de nutrientes nas pastagens. Dentre estes, pode-se citar a fosfatagem em substituição à queimada, que possibilitaria a inserção de P e outros nutrientes no solo com aumento da produtividade e retenção de carbono no agroecossistema. Um experimento constituído por 5 tratamentos com 4 repetições foi estabelecido em campo, sendo: T1 - pastagem sem queimada; T2 - nível baixo de fosfatagem + pastagem sem queimada; T3 - nível alto de fosfatagem + pastagem sem queimada; T4 - nível muito alto de fosfatagem + pastagem sem queimada, e; T5 - pastagem queimada. Com este trabalho objetivou-se avaliar os atributos de fertilidade química do solo, com ênfase no fósforo, a produtividade de biomassa, os estoques parciais de carbono e a redução de perda parcial do elemento para atmosfera em função da fosfatagem em substituição à queimada num agroecossistema de *B. brizantha* Stapf. cv. Marandu degradada em período inicial de crescimento na Amazônia Ocidental. A fosfatagem em substituição à queimada melhorou a fertilidade do solo com consequente aumento das produtividades de biomassa parcial atual e biomassa parcial atual remanescente, aumentando, em função disso, os estoques de carbono parcial atual e parcial atual remanescente que se refletiram em significativa redução de perda de CO₂ para atmosfera num período inicial de crescimento de plantas.

Palavras-chave: nutrientes; perda de dióxido de carbono; prática de manejo do solo, pastagem; sustentabilidade.

ABSTRACT

DA SILVA, L.C. *Partial stocks and reduction of carbon losses with the replacement of burning by phosphating on a *Brachiaria brizantha* cv. *Marandu* agroecosystem in oxisol in the Western Amazon.* 2017. 110p. PhD Thesis (Environmental Physics), Physical Institute, Federal University of the Mato Grosso State, Cuiabá, 2017.

*For decades, cattle production in Brazil has been done at the expense of gradual pasture degradation. The burnings are among the causes of this degradation and its spread aggravates the problem. The practice of the Humaita cattle ranchers who use the burn to eliminate weeds and improve the pastures contrasts with the discovered and chemically degraded soils cultivated with *B. brizantha* Stapf. cv. *Marandu* of low productivity and invaded by these weed plants. In opposition to that arise the types of management that increase the surface biomass, the stored C and the nutrient recycling in the pasture. Among these, it can mentioned the phosphating in substitution to the burning, which would allow the insertion of P and other nutrients in the soil with increasings in the biomass productivity and C retention in the pasture agroecosystem. An experiment consisting of 5 treatments with 4 replicates was established in the field, being: T1: pasture without burning; T2: pasture without burning + low level of phosphating; T3: pasture without burning + high level of phosphating; T4: pasture without burning + very high level of phosphating, and; T5: pasture burned. The aim of this work was quantify the soil chemical fertility attributes, with emphasis on phosphorus, the biomass productivity, partial carbon stocks and the reduction of partial losses of the element to the atmosphere as a function of the replacement of burning by phosphating of a degraded *B. brizantha* Stapf. cv. *Marandu* agroecosystem in the annual initial growth in the Western Amazon. The phosphating in substitution to the burning improved the soil fertility with a consequent increase in the biomass yields with a consequent increasings in the yields of current partial biomass and current partial biomass remaining, increasing, as a result, the current partial carbon stock and the remaining partial carbon stock which were reflected on a significant reduction of CO₂ losses to the atmosphere in the initial of annual plant growth.*

Key-words: *nutrients; loss of carbon dioxide; practice of management, grassland; sustainability.*

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMÁTICA

Desde a década de 70 a produção bovina no Brasil é feita às custas da degradação gradual das pastagens (DIAS-FILHO, 2014b; LUIZÃO et al., 2009). São citadas como causas deste processo o superpastejo, a não reposição de nutrientes ao solo (DIAS-FILHO, 2015) e a cultural queima periódica e contínua das pastagens (INPE, 2016; LUIZÃO et al., 2009), que ocasiona desequilíbrio e redução do teor de matéria orgânica (MOS) e, conseqüentemente, do carbono orgânico total do solo (COT) (PEREIRA & PERES, 1985). A descapitalização e falta de acesso a crédito, além do desinteresse dos pecuaristas em conhecer e utilizar formas de manejo que contemplem técnicas e materiais alternativos para inserção de fósforo (P) e outros nutrientes ao solo visando recuperar, manter ou aumentar a produtividade das pastagens, levam à perpetuação do uso da queimada.

A disseminação da prática agrava o problema, uma vez que reduz a biomassa que cobre o solo de vastas áreas cultivadas com pastagens extensivas (LUIZÃO et al., 2009). A consequência mais óbvia e imediata das queimadas são os enormes montantes de gases de carbono (C), enxofre (S) e nitrogênio (N) emitidos para a atmosfera, que aumentam o desconforto da poluição do ar nas cidades e incrementam o efeito estufa (AMAZÔNIA REAL, 2016; SHRESTHA, 2009; LAL, 2008a; LAL, 2004a; FERNANDES et al., 1997; KAUFFMAN et al., 1994).

Segundo os pecuaristas, a queimada visa eliminar “plantas daninhas” e melhorar as pastagens. No entanto, esse pensamento instaura um contraste nas propriedades agrícolas de Humaitá, pois, os solos cultivados com *B. brizantha* Stapf. cv. Marandu encontram-se parcial a totalmente descobertos e os pastos apresentam-se com baixa produtividade e as pastagens invadidas por plantas daninhas. Em tais circunstâncias, acentuam-se a erosão hídrica e a lixiviação de nutrientes (LUIZÃO et al., 2009; SNYMAN, 2004; HERINGER et al., 2002a) que reduzem a fertilidade química e aumentam a degradação de solos já são naturalmente ácidos, álicos e pobres em nutrientes, principalmente de P (CAMPOS et al., 2012; MOREIRA et al., 2005).

Outro aspecto contrastante é a cor verde-clara amarelada percebida nas plantas nutridas só com os nutrientes liberados pela queimada, que apresentam porte reduzido

e baixíssima produtividade de biomassa do início ao fim do ciclo anual de crescimento. Em princípio, esta cor causa a falsa impressão de melhora das pastagens após as queimadas (HERINGER & JACKES, 2002). No entanto, este verde e porte reduzidos são sintomas característicos da inadequada disponibilidade de P e N no solo (MALAVOLTA et al., 1997). Do ponto de vista fitotécnico, a notória redução do porte e suporte da produtividade biológica das pastagens, com reflexo nos estoques de C destes agroecossistemas, gera insustentabilidade no médio e longo prazo (PEREIRA & PERES, 1985). Esse “*rol*” de observações empíricas e inconclusivas comumente aceitas, portanto, não estão totalmente esclarecidas, situando-se no estado da arte do assunto e, por isso, ainda são objetos de pesquisa.

1.2. JUSTIFICATIVA

Em oposição aos problemas ora especificados, surgem os sistemas de manejo que maximizam a reciclagem de nutrientes pela manutenção ou aumento da quantidade de biomassa superficial, do reservatório de C no solo (MARAHATA et al., 2014) e na biomassa das pastagens (RUMPEL et al., 2015; FAO, 2015), tornando-os semelhantes aos ecossistemas naturais ou agroecossistemas que, desde sua concepção, suprimem as queimadas (MARAHATA et al., 2014; HERINGER et al., 2002a). A substituição da queimada pela fosfatagem com fosfatos de rocha parcialmente acidulados possibilitaria a inserção de P e outros nutrientes e aumento da produtividade de biomassa das pastagens. Tal prática, aliada à manutenção da biomassa residual na superfície do solo, reduziria a degradação e proporcionaria maior retenção de C nestes agroecossistemas, adequando-os, ambientalmente, face às mudanças climáticas. Segundo Conant (2010), reduzir a degradação das pastagens é sinônimo de redução das emissões de gases de C para atmosfera.

Os solos dos campos de Humaitá possuem baixos teores naturais de P ($5,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ou menos) (MOREIRA et al., 2005). Ao longo dos anos as queimadas periódicas liberaram o P contido na biomassa para a solução do solo. No entanto, a maior parte deste P se fixa nos solos oxídicos da região, diminuindo ainda mais a disponibilidade do nutriente, que é um dos fatores que mais limita a produtividade de biomassa (MARSCHNER, 2012, EPSTEIN & BLOOM, 2006). Consequentemente, o C fixado

na biomassa das pastagens, incluindo-se as do gênero *Brachiaria spp*, também se reduziu. Portanto, a adoção de práticas de manejo alternativo que insiram nutrientes nos solos e que mantenham a biomassa superficial são soluções possíveis e necessárias que elevariam a produtividade das pastagens e contribuiriam com a sustentabilidade destes agroecossistemas na região de Humaitá e com a mitigação das mudanças climáticas globais (LAL, 2011).

O potencial de impacto no desenvolvimento científico, tecnológico e educacional da região também é relevante nas pesquisas dessa natureza. Por conseguinte, estudos sobre a relação da produtividade e retenção de C na biomassa de *B. brizantha* Stapf. cv. Marandu com a disponibilização de P pela fosfatagem em substituição à queimada, podem despertar a atenção e conscientizar os pecuaristas sobre a necessidade da adoção de sistemas mais sustentáveis de produção pecuária. Nesse sentido, também são oportunas pesquisas que possibilitem a divulgação de sistemas produtivos que contemplem técnicas conservacionistas e melhoradoras da qualidade do solo e da pastagem. Estas técnicas seriam apresentadas e, possivelmente, disponibilizadas para uso pelo pecuarista, justificando o seu fomento. Este aspecto denota, adicionalmente, o caráter de pesquisa-ação do presente trabalho. Pois, além de contribuir com o conhecimento científico, mostraria ao público-alvo os efeitos benéficos imediatos de um sistema alternativo de manejo da fertilidade química de solos em substituição à queima de pastagens extensivas, tornando a atividade pecuária mais sustentável na região.

Até o momento, raras investigações enfatizaram os fertilizantes fosfatados como fonte de mais de um nutriente como alternativa à queima das pastagens. Assim sendo, quaisquer esforços sistemáticos dispendidos para reduzir ou eliminar as queimadas como técnica de manejo das pastagens são justificáveis. Os objetivos abaixo foram delineados com base nestas informações.

Foi considerada a hipótese de que os estoques parcial atual e parcial atual remanescente de carbono de *B. brizantha* Stapf. cv. Marandu em início de crescimento são aumentados pela fosfatagem em substituição à queimada porque tais práticas promovem o aumento da disponibilidade de P que se relaciona com o aumento da produtividade de biomassa e, conseqüentemente, com a redução de perdas de C do agroecossistema.

1.2.1. Objetivo Geral

Com o presente trabalho objetivou-se avaliar os atributos de fertilidade química do solo, com ênfase no fósforo, e os estoques parciais de carbono e a redução de perda parcial do elemento para atmosfera em função da fosfatagem em substituição à queimada num agroecossistema de *B. brizantha* Stapf. cv. Marandu degradada em início de crescimento anual na Amazônia Ocidental.

1.2.1.1. Objetivos Específicos

Especificamente foram quantificados:

- a) os atributos de acidez, soma de bases e saturação de bases do solo;
- b) a disponibilidade de fósforo, cálcio, magnésio, enxofre e micronutrientes;
- c) as produtividades de biomassa de lâmina foliar, colmo com bainha e serapilheira, biomassa parcial atual, biomassa parcial atual remanescente e o carbono nelas fixado;
- d) o carbono orgânico total e o estoque do elemento na camada superficial do solo;
- e) os estoques parcial atual e parcial atual remanescente de carbono bem como a redução de perdas parciais do elemento na forma de dióxido de carbono (CO₂) para atmosfera.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. DEGRADAÇÃO DAS PASTAGENS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

As pastagens ocupam dois terços da área cultivada no mundo (HENG et al., 2014) e três quartos da área agricultável no Brasil (DIAS-FILHO, 2013; DIAS-FILHO, 2014a; ALMEIDA & PINHEIRO, 2015). O superpastejo, a erosão do solo, a não-reposição de nutrientes, sobretudo de P (DIAS-FILHO 2014a; DIAS-FILHO, 2014b; BARCELOS et al., 2011) aliados às queimadas nas diferentes regiões do país são responsáveis pela degradação de, pelo menos, 50% destas pastagens (INPE, 2016; O'MARA et al., 2012; LUIZÃO et al., 2009; PEREIRA & PERES, 1985).

Na Amazônia brasileira, entre 13 e 15 Mha de pastagens encontram-se em algum estágio de degradação (DIAS-FILHO, 2014a). Ao longo do tempo, as queimadas e a inadequação do manejo acentuaram a degradação (DIAS-FILHO, 2011a), caracterizada pela redução do porte e produtividade de biomassa das plantas e, conseqüentemente, do carbono (C) fixado nestes agroecossistemas. A *B. brizantha* Stapf. cv. Marandu ocupa parte significativa da área total de pastagens no Brasil, e se insere neste contexto (DIAS-FILHO, 2014b).

2.1.1. Prática da Queimada

De acordo com Freitas et al. (2005), a queima das pastagens é o processo de combustão da biomassa superficial ocorrida por razões naturais ou provocada pelo homem. É uma prática importante sob o ponto de vista ambiental porque transfere cerca de 90% do C para atmosfera nas formas de monóxido (CO) e dióxido (CO₂) de carbono, metano (CH₄) e material particulado (BARKER et al., 2007), além de nitrogênio (N₂O) e enxofre (SO₂) (HOLT & COVENTRY, 1990).

As queimadas são utilizadas visando eliminar “plantas daninhas” e a biomassa superficial residual e aumentar a disponibilidade de nutrientes no solo no pós-queima, favorecendo o ressurgimento anual da pastagem e a melhora de sua qualidade (DIAS-FILHO, 2011b; RHEINHEIMER et al., 2003). No entanto, os efeitos benéficos desta prática ainda são controversos na literatura. De acordo com o trabalho de Jacques (2003), quando a vegetação espontânea (plantas daninhas) é adequadamente

controlada, a biomassa superficial protege o solo e as gemas vegetativas das pastagens, além de aumentar a retenção de água no solo de forma que, neste caso, a queimada não se faz necessária.

Na Amazônia brasileira as pastagens são periodicamente queimadas a cada 2 ou 3 anos por cerca de 10 a 20 anos (GUILD et al., 1998). O total de biomassa de pastagem queimada na região é de 240 Tg ano⁻¹, sendo comparável ao total queimado por fogos de desmatamento (KAUFFMAN et al., 1998). Por isso, a quantidade total de C na pastagem é diminuída tanto pela queimada (FREITAS et al., 2005) quanto pelas consequências dela advindas, como a redução no aporte de biomassa e, conseqüentemente, de matéria orgânica, COt e estoque de C no solo (ZINN et al., 2005) e na biomassa (STEVENSON, 1994).

2.1.1.1. Efeitos da Queimada Sobre os Atributos de Fertilidade Química de Solo e de Planta nos Agroecossistemas

De maneira geral, em curtos períodos após as queimadas tem-se verificado alterações da fertilidade química da camada superficial dos solos de agroecossistemas, de matas, savanas e pastagens nativas representadas por aumentos do pH, da soma de bases (SB), da saturação de bases (V%), Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ (TOMASI et al., 2012; SILVA et al., 2006; RHEINHEIMER et al., 2003; FERNANDES & FERNANDES, 2002; KAUFFMAN et al., 1994), do teor de P (PEREIRA & BRAGA, 2014; TOMASI et al., 2012; SERRASOLSAS & KHANN, 1995) e da capacidade de troca de cátions (CTC) (FERNANDES & FERNANDES, 2002, CUNHA, 1980; COSTA & RODRIGUES, 2015; PEREIRA & BRAGA; 2014; DICK et al., 2008; ALMENDROS et al., 1997; FRITZE et al., 1994). De acordo com Heringer et al. (2002a), o fato se deve à ação das cinzas presentes na superfície do solo após a queima da biomassa.

Também tem sido verificado que essa melhoria da fertilidade do solo ocorre somente no curto prazo, esgotando-se em períodos mais longos de uso agropecuário do solo (JACQUES, 2003). Angassa et al. (2012) mostraram que, quando aumenta o tempo após a queima de pastagem de savana, as alterações na dinâmica de nutrientes são caracterizadas pelo baixo conteúdo de N além de alto teor de P disponível e menor disponibilidade de cátions trocáveis no solo. Outros autores relataram, adicionalmente,

que solos cultivados com pastagens periodicamente queimadas apresentam níveis menores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ além de elevado teor e saturação de alumínio (m%) e menor CTC na camada superficial do solo em longo prazo (DICK et al., 2008; ARAÚJO et al., 2004; RHEINHEIMER et al., 2003; HERINGER et al., 2002a; RAWITSCHER, 1951¹ apud PEREIRA & PERES, 1985). Esse esgotamento dos solos de agroecossistemas acentua-se devido à redução do teor de nutrientes por carreamento, erosão hídrica e lixiviação (FARELLA et al., 2006; FREITAS et al., 2005; CERTINI, 2005; MACKENSEN et al., 1996), além da diminuição da quantidade de MOS e C (RUMPEL et al., 2015) dos solos. A exceção tem sido o P, cuja disponibilidade aumenta em até três vezes com a queimada, mantendo-se em níveis mais altos ao longo do período pós-queima (FARIA et al., 2011).

Estes relatos conduzem à conclusão de que os impactos iniciais da queimada sobre alguns atributos específicos, via de regra, não perduram. Níveis menores de fertilidade podem ser verificados no longo prazo, sendo seguidos pela degradação do potencial produtivo e da capacidade de suporte das pastagens (DICK et al., 2008; KNICKER, 2007; RHEINHEIMER et al., 2003; HERINGER et al., 2002a; HERINGER & JACKES, 2002c).

Segundo Johnson et al. (2003), as queimadas alteram o ciclo do C em conjunto com os ciclos do N e do P em função da combustão da biomassa superficial, liberando C na forma de gás (CO_2 , CO^* e CH_4) e N gasoso, nitrato (NO_3^-) e P mineral. Por isso, ocorre redução da quantidade de biomassa (JACKES, 2003; HERINGER & JACKES, 2002b) e, conseqüentemente, de C acima do solo e no solo de agroecossistemas de pastagem. No entanto, ainda não existe consenso sobre a variação da quantidade de C no solo após a queima das pastagens e outros agroecossistemas. Têm sido verificadas tanto elevações relativas (DALMOLIN et al., 2006; KNICKER et al., 2005; RHEINHEIMER et al., 2003) quanto uma sensível redução do teor de COt do solo no longo prazo após as queimadas de diferentes áreas cultivadas (SILVA et al., 2006; ROSCOE et al., 2000), incluindo-se as pastagens e savanas (DICK et al., 2008). O C oriundo das queimadas tem ocasionado a variação de 5 a 30% no COt dos solos (RODIONOV et al., 2010) que, segundo YAO et al. (2010), pode estar relacionada à

¹RAWITSCHER, F. O problema das savanas brasileiras e das savanas em geral. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 105, p. 887-893, 1951.

dependência da variável em relação à quantidade de biomassa. Cabe salientar, ainda, que a biomassa semi-queimada que permanece após as queimadas, apesar de possuir baixo teor de N (KNICKER, 2011) e, por isso, ser de difícil degradação (ALEXIS et al., 2010), pode aumentar o COt do solo e influenciar os ciclos de outros elementos catiônicos em função de suas propriedades específicas de adsorção (CRISCUOLI et al., 2014).

Deste contexto é possível constatar-se que a queima das pastagens ou agroecossistemas similares geram alterações que melhoram a fertilidade e qualidade química do solo que, porém, podem não perdurar no tempo. Como resultado, até mesmo níveis de qualidade e fertilidade química do solo menores que os anteriores podem ser verificados em períodos relativamente curtos após as queimadas, (KNICKER, 2007).

2.2. Efeitos de Práticas de Melhoramento das Pastagens Sobre o Carbono e Demais Atributos de Fertilidade Química do Solo

No sentido oposto das queimadas estão a incorporação de fosfatos e outros fertilizantes ao solo e a manutenção da biomassa superficial remanescente do ciclo anterior de crescimento, que são estratégias de recuperação, ou, redução da degradação pelo aumento da produtividade das pastagens (MARAHATA et al., 2014). Quando o solo é fertilizado e a biomassa residual é mantida na superfície ocorrem alterações nos teores de COt e demais atributos de fertilidade e qualidade química dos solos (MARAHATA et al., 2014) comparativamente às queimadas (FARIAS et al., 2016; TOMASI et al., 2012; MATOS et al., 2012; TAVAREZ FILHO et al., 2011; SIQUEIRA NETO et al., 2009; HERINGER et al., 2002a). Por isso, estas práticas têm-se constituído formas de melhoramento de pastagens nativas (SANTANA et al., 2011) ou cultivadas do gênero *Brachiaria spp* (TAVAREZ FILHO et al., 2011) pelo maior acúmulo de C e nutrientes na camada superficial do solo comparativamente à ausência de manejo e às queimadas.

Nesse sentido, Heringer et al. (2002a), relataram que tanto a supressão de queimada isolada e quanto em conjunto com a fertilização de pastagem natural mostraram-se práticas conservacionistas, pois, mantêm a fertilidade química do solo

em níveis adequados. Ao contrário disso, o uso contínuo da queimada aumentou a m% e H+Al, e reduziu os teores de Mg^{2+} e a biomassa de cobertura do solo em relação a quaisquer tipos de manejo com manutenção da biomassa superficial. Esta mesma pastagem fertilizada com ou sem roçada por longo período mostrou maior potencial produtivo, fornecendo maior cobertura e proteção ao solo pelas plantas (HERINGER et al., 2002b) e melhorando a reciclagem de nutrientes na biomassa de serapilheira do agroecossistema (HERINGER & JACKES, 2002c). Estes resultados são semelhantes aos de Silva et al. (2006), que verificaram aumento do pH, N e P no solo em função da manutenção da biomassa superficial de pastagem abandonada não queimada.

2.3. Efeitos das Práticas de Melhoramento das Pastagens Sobre a Produtividade de Biomassa e Carbono Fixado

As plantas removem a forma inorgânica de C (CO_2) da atmosfera, fixando na fotossíntese e armazenando-a na biomassa, antes de sua incorporação à MOS (TAIZ & ZEIGER, 2013; LARCHER, 2006). Por isso, a despeito de ocorrer em menor percentagem no total de C das pastagens (MOXLEY et al., 2014a, LIU et al., 2016), manter ou aumentar a quantidade do elemento na biomassa destes agroecossistemas tem sido considerada alternativa de mitigação das emissões dos gases de efeito-estufa, tal como preconizado no protocolo de Kyoto.

O C da biomassa de savanas, pradarias e pastagens naturais, semi-naturais e cultivadas tem sido determinado e mapeado em todos os continentes (MA et al., 2016; MA et al., 2014; BATLLE-BAYER et al., 2010; WANG et al., 2009; FAN et al., 2008; PIAO et al., 2008; GRACE et al., 2006; NI et al., 2004; CHEN et al., 2003; NI et al., 2002). No entanto, os objetivos destes trabalhos diferem dos poucos autores que compararam agroecossistemas com preservação da biomassa superficial e com queima dessa biomassa (SEGER et al., 2016; MOXLEY et al., 2014a; MOSQUERA et al., 2012; SILVA NETO et al., 2012; AMÉZQUITA et al., 2010).

O que se sabe atualmente é que o manejo das pastagens, representado pela supressão de queimada (SCHNABEL et al., 2001), pela calagem e a fosfatagem com consequente aumento da produtividade líquida de biomassa (OGLE et al., 2004; SCHUMAN et al 1999; NYBORG et al., 1999; REEDER & SCHUMAN 2001; RICE

& OWENSBY, 2001), aumenta a quantidade de biomassa acima do solo (HERINGER & JACKES, 2002b). Por isso, é considerado uma prática auxiliar de retirada do C da atmosfera (CARVALHO et al., 2010; MAIA et al., 2010; MAIA et al., 2009; MARCHÃO et al., 2009; SOUSSANA et al., 2009; SCHUMAN et al., 2002; CONANT et al., 2001).

Alguns autores relataram que estas formas de manejo efetivamente aumentam os teores de C orgânico total dos agroecossistemas de pastagem. Amézquita et al. (2010; 2006), verificaram que solos mais férteis submetidos a baixas temperaturas e altas declividades apresentaram maiores quantidades totais de C enquanto que sistemas silvipastoril e pastagens de clima tropical melhorados com fertilização fosfatada e outros nutrientes, mostram altos níveis de C acumulado total no solo e acima do solo destes agroecossistemas. Observaram, ainda, que o C acumulado no solo representou sempre mais de 80% do total do elemento nos diversos agroecossistemas de pastagem estudados. Estes resultados embasam a afirmação de que pastagens bem manejadas, cultivadas em mistura ou não com outras espécies, por preservarem a biomassa na superfície do solo, são atrativas do ponto de vista econômico e ambiental dado seu potencial de sequestro de C e redução da degradação pelo aumento da produtividade de biomassa e o C da biomassa, que conferem maior proteção ao solo.

Liu et al. (2016) mensuraram os estoques de C em agroecossistemas de pastagem natural melhorada durante seu pico de crescimento. Os autores observaram a variação de 0,4 a 28,0 Mg ha⁻¹ de C total na biomassa de gramíneas. O teor de COt do solo variou de 19,5 a 285,6 Mg ha⁻¹ nas diferentes pastagens e locais estudados. A média de C total estimado nas pastagens foi de 5,14 Pg de C, dos quais cerca de 94% (4,85 Pg de C) encontram-se na forma de COt do solo. Moxley et al. (2014a) estudaram as pastagens no Reino Unido e concluíram que o C estocado na biomassa e no solo são afetados pelo manejo dispendido, sendo verificados maiores teores de C nos solos submetidos à fertilização. As gramíneas naturais e semi-naturais apresentaram a média de 2,8 Mg ha⁻¹ de C na biomassa acima do solo que contrastaram com pastagens arbustivas, que contém até 10 Mg ha⁻¹ de C. No Brasil, Ronquim (2007) constatou que o manejo com calagem e fertilização ocasionaram produções de biomassa e C fixado significativamente maiores nas pastagens do gênero *Brachiaria spp.* O autor salientou que as médias de biomassa e C verificados na região estudada apresentaram grandes

diferenças entre si, gerando desvios que se devem às diferentes produtividades das pastagens manejadas frente às degradadas. Teixeira & Oliveira (1999) avaliaram a biomassa de *B. humidicola* e o C orgânico nela aprisionado e verificaram, em média, 127,35 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, ou 57,31 Mg ha⁻¹ de C. A biomassa da parte aérea representou 6,65% do total na pastagem (8,48 Mg ha⁻¹), a serapilheira 1,44% (1,83 Mg ha⁻¹) e a MOS cerca de 82,6%, (ou 105,24 Mg ha⁻¹). Em termos de C retido no agroecossistema representaram, respectivamente, 3,81; 0,83 e 47,36 Mg ha⁻¹, seguindo o padrão de predominância do estoque de C no solo na quantidade total do elemento retido nos agroecossistemas.

2.4. Fósforo nos Agroecossistemas

O fósforo (P) participa de vários processos celulares e, por isso, é fundamental para o crescimento e desenvolvimento vegetal (MARSCHNER, 2012; LARCHER, 2006). “*Sem o P a planta não completa seu ciclo de vida porque não pode ser substituído por nenhum outro elemento*” (MALAVOLTA, 2006; RAIJ, 1991). Ao contrário da baixa mobilidade e acentuada fixação nos oxissolos ácidos tropicais (NOVAIS & SMITH, 1999), o P é altamente móvel na planta (MALAVOLTA, 2006; MALAVOLTA, 1997; RAIJ, 1991), exercendo funções na transferência e transporte de energia, na reprodução, na respiração e fotossíntese de acordo com a espécie vegetal (TAIZ & ZEIGER, 2009; NOBEL, 2009; EPSTEIN & BLOOM, 2006; MALAVOLTA et al., 1997).

A demanda vegetal por P é pequena. Porém, o nutriente deve estar presente na solução do solo na forma de ortofosfato (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}) para que a absorção ocorra e o desenvolvimento das plantas seja satisfatório (MARSCHNER, 2012; EPSTEIN & BLOOM, 2006; MALAVOLTA, 2006; RAIJ, 1991). O aumento destas formas disponíveis pela fertilização ou liberação da fração lábil do solo ocasionará maior absorção de P, independentemente da exigência da espécie (MARSCHNER, 2012; NOVAIS & SMITH, 1999).

O suprimento de P às plantas pode ser feito, pelo menos em parte, pela fosfatagem, ou seja, pela aplicação de fosfatos que visa aumentar a disponibilidade do nutriente no solo e reduzir as quantidades a serem aplicadas na fertilização de

manutenção da produção das espécies cultivadas (NOVAIS & MELLO, 2007). Por isso, tem sido recomendada para agroecossistemas conservacionistas de produção agropecuária (CRAVO et al., 2005).

2.4.1. Fosfatagem com Fosfatos Parcialmente Acidulados

Dentre as fontes utilizadas para fosfatagem estão os fosfatos de rocha parcialmente acidulada (FPA), nos quais parte do P total é solúvel e disponível (VITTI, 2004; NOVAIS & SMITH, 1999). Estes FPA podem representar economia de recursos em função da aplicação no solo sem a onerosa acidulação total na indústria (BASAK & BISWAS, 2016; PROCHNOW, 2003). No entanto, mesmo para os FPA, existe proporcionalidade entre o grau de acidulação e a solubilidade e eficiência dos materiais, independentemente da rocha de origem (GOEDERT et al., 1990).

Os FPA disponibilizam prontamente no solo sua fração solúvel de P (PROCHNOW, 2003; NOVAIS & SMITH, 1999) e gradualmente, por dissociação química, a parte não-solúvel do nutriente presente na rocha *in natura*, utilizada em seu processo de produção industrial (HAMMOND et al., 1986). Quando níveis crescentes de fosfatos de rocha semelhantes à parte não solúvel dos FPA são aplicados ao solo podem ocasionar elevação do pH (OSZTOICS et al., 2005; MOREIRA et al., 2002) e dos teores de P (ANETOR & AKINRINDE, 2006; MAGNANTI et al., 2006; MOREIRA et al., 2002, SOARES et al., 2000) e de bases trocáveis no solo (ANETOR & AKINRINDE, 2006; MAGNANTI et al., 2006; MOREIRA et al., 2002; BELTRÁN et al., 1998). Além disso, a aplicação destes materiais tem ocasionado aumentos na concentração e acumulação de P pelas plantas cultivadas (OSZTOICS et al., 2005; MOREIRA et al., 2002; BELTRÁN et al., 1998), incluindo-se as pastagens.

2.4.2. Fosfatagem e Produtividade de Biomassa nos Agroecossistemas

Alguns autores verificaram que, sempre que a aplicação de materiais fosfatados com diferentes teores solúveis de P são aliadas a doses agronômicas de N e K, ocorrem aumentos no crescimento de raízes, perfilhos e produção de biomassa dos pastos (DIAS et al., 2015; NORONHA et al., 2010; RAMOS et al., 2009; MAGALHÃES et

al., 2007; BELARMINO et al., 2003; HOFFMANN et al., 1995; CORRÊA & HAAG, 1993). Por isso, é esperado que apresentem eficiência produtiva proporcional ao seu grau de acidulação (NOVAIS & SMITH, 1999; GOEDERT et al., 1990).

No entanto, a produtividade das plantas depende não somente do P mas também de N, K e outros nutrientes no solo, da espécie vegetal e condições climáticas (SOUSA et al., 2004). No entanto, a sustentabilidade dessa produção depende da fertilização com P uma vez que é severamente limitada pela deficiência do nutriente (MARSCHNER, 2012; MALAVOLTA, 2006; SOUZA & LOBATO, 2004; MACEDO, 2005). De maneira geral, quando a disponibilidade de P no solo está adequada, o N disponível torna-se responsável pelo aumento da produção de biomassa das pastagens (BERNARDI et al., 2011; MAGALHÃES et al., 2007). Tem sido verificado que os FPA propiciam de 64% (DIAS-FILHO & SIMÃO NETO, 1992) a 100% ou mais (HAQUE et al., 1999; PASSOS et al., 1997) da biomassa de diferentes pastagens produzida com fontes solúveis de P. Na ausência do P solúvel destas fontes, a produção de biomassa da pastagem é muito baixa.

O fosfato de rocha parcialmente acidulado Alvorada (FA) tem apresentado eficiência produtiva das plantas cultivadas similar às fontes solúveis (FURUYA et al., 2012). No entanto, não é recomendado o uso isolado da parte não acidulada deste FA (fosforita Alvorada em pó, *in natura*) na implantação e crescimento de pastagens (MAGNANTI et al., 2006), a despeito de proporcionar 50% mais biomassa em relação à não aplicação desta fonte de P.

2.4.3. Fosfatagem e Carbono Orgânico nos Solos de Agroecossistemas

Para Matos et al. (2006) existe uma relação complementar entre o COt e o P disponível no solo. Os autores referem-se à influência exercida pelo P disponível sobre a quantidade de biomassa produzida e, conseqüentemente, sobre o acúmulo de C no solo. Mello Ivo & Mielniczuk (1999) relataram que, se tal relação é recíproca, então, o teor e qualidade do COt também influenciam a disponibilidade do nutriente no solo, sugerindo a existência de associação entre as variáveis. Estas afirmações são fortalecidas pela comprovada ação de compostos orgânicos de baixo peso molecular formados na decomposição da MOS, que competem pelos sítios de adsorção específica

e precipitam com Fe e Al^{3+} , aumentando a disponibilidade de P na forma de $H_2PO_4^-$ no solo (SANTOS & TOMM, 2003; NOVAIS & SMITH, 1999; AFIF et al., 1995). Tal relação faz do manejo da fertilização fosfatada trivial para confirmar o papel das pastagens como sumidouros de C atmosférico (OGLE et al., 2004).

Não são muitos os trabalhos que objetivaram avaliar o COt especificamente em função da fosfatagem do solo. O número de trabalhos se reduz quando o C é analisado em solos submetidos à fosfatagem com FPA. Entretanto, o tema é atual e, por isso, ainda é pesquisado (LAL, 2009) uma vez que a carência de P limita a produtividade de biomassa (MARSCHNER, 2012) com reflexo no acúmulo de C no solo (RUMPEL et al., 2015). Quando a aplicação de fosfatos de fontes mais ou menos solúveis, calagem e adubações com N e K são aliados à manutenção da biomassa superficial em sistemas de manejo de diferentes espécies pastagens, alguns autores sugerem a redução de perdas e, conseqüentemente, aumento da MOS e do teor e estoques de C, excepcionalmente das camadas mais superficiais do solo (OLIVEIRA et al., 2015; ASSAD et al., 2013; JERKE et al., 2012; CONCEIÇÃO et al., 2005; SILVA et al., 2004; DESJARDINS et al. 2004; SZAKÁCS, 2003; MURATA et al., 1995).

Siqueira Neto et al. (2009) verificaram maior aporte de biomassa aérea e do sistema radicular de *B. decumbens* em sistema de manejo trianual com calagem, P e níveis baixos de N e K, que justificaram maior teor de COt associado ao P disponível e maior retenção de nutrientes na camada superficial do solo, denotando uma interação que favorece a absorção pelas plantas.

Rosa et al. (2014) avaliaram o COt da camada superficial de solo cultivado com pastagens e verificaram que a reposição de P e outros nutrientes ocasionaram a retenção de 15% mais COt na camada de 0,0-0,30 m em relação às práticas impactantes do solo. Rosendo et al. (2012) compararam o estoque de C da camada superficial de solos cultivados com *Brachiaria spp* que receberam fosfato e outros fertilizantes com estas pastagens degradadas e não fertilizadas em solo de cerrado. O melhoramento da pastagem ocasionou 21,15% mais C ($9,29 \text{ Mg ha}^{-1}$) em relação à pastagem degradada. Souza et al. (2009) não verificaram diferenças significativas entre os estoques de C de um solo cultivado com pastagem submetida à calagem e fertilizada com P, N e K e o mesmo solo coberto por mata nativa.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA GERAL DA REGIÃO DE HUMAITÁ

Braun & Ramos (1959)² apud Campos et al. (2012), caracterizaram o relevo de Humaitá como do tipo tabuleiro, com pequenos desníveis e bordos ligeiramente abaulados nos quais terraços fluviais formam divisores de água entre igarapés. Aluviões antigos do período Holoceno formam a geologia da área, na qual Argissolos, Cambissolos e Gleissolos formam pedoambientes de uma transição campo-floresta. A altitude média do local é de 90 m.

Chuvas do tipo monção, que perduram de outubro a junho com pequeno período seco, caracterizam o clima da região como tropical chuvoso (Am). As temperaturas médias variam de 25 a 27 °C e a precipitação média anual é de 2500 mm. A umidade relativa do ar varia de 85 a 90%.

3.2 CARACTERIZAÇÃO GERAL DO LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado numa área da Fazenda Vanazzi, de propriedade do Sr. Paulo Vanazzi, no município de Humaitá, Amazonas (Figura 1). Com base numa entrevista com o proprietário e na análise de mapas planialtimétricos e de imagens da vegetação na década de 80, concluiu-se que a área experimental está localizada no pedoambiente de Campo Alto, ou seja, num platô rebaixado da paisagem, onde gramíneas e árvores retorcidas e espaçadas (Cerrado) vegetavam num Cambissolo Háplico Alítico, com características químicas, físicas e mineralógicas bem definidas (CAMPOS et al., 2012). Dentre estas, destacam-se o baixo a médio teor de carbono orgânico total do solo (COt) e a baixa disponibilidade de P (CPRM, 2010; MOREIRA et al., 2005). A topografia da Fazenda Vanazi é predominantemente plana, com áreas isoladas de relevo suave ondulado entre 0 e 2%. Suas coordenadas de porteira são: 7° 35' 43.348" S e 63° 6' 50.71" W.

²BRAUN, E.H.G.; RAMOS, J.R.A. Estudo agroecológico dos campos Puciari-Humaitá (Estado do Amazonas e Território Federal de Rondônia). *Revista Brasileira de Geografia*, v. 21, p. 443-497, 1959.

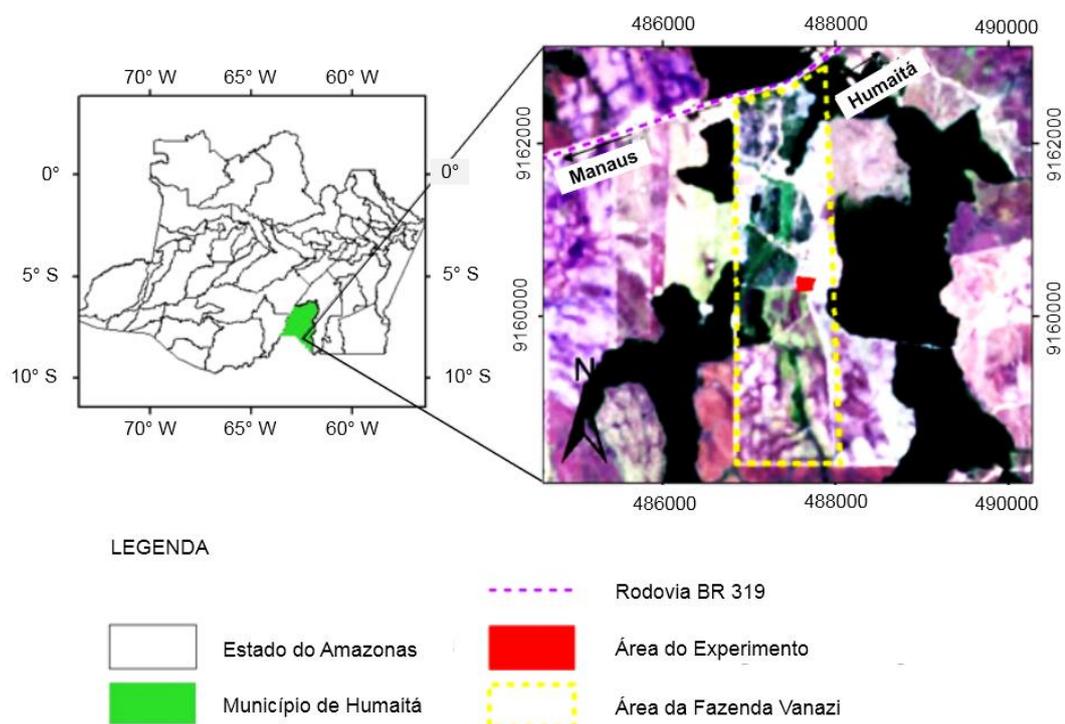


Figura 1. Localização da Fazenda Vanazzi e área experimental no km 12 da BR 319, sentido Humaitá-Manaus, em Humaitá, Amazonas

3.3 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

3.3.1 Dimensionamento, Delimitação e Capina da Área Experimental Específica

A área experimental específica (AEE) medeia 25,0 m x 45,0 m (0,11 ha). Para o estabelecimento dos blocos experimentais foi escolhida uma área de relevo plano representativa de *B. brizantha* Stapf. cv. Marandu, nunca queimada e em estágio II de degradação, segundo Dias-Filho (2011b). As coordenadas dos cantos superior esquerdo e inferior direito da área experimental são, respectivamente, 07° 35' 42" S/63° 06' 46" W e 07° 35' 47" S/63° 06' 40" W.

No mês de setembro de 2014 a AEE foi isolada por cerca de palanques de madeira com 1,50 m de altura a cada 3,0 m de distância em seu perímetro. Foram esticados sete fios de arame liso (2,0 mm), distanciados 0,10 m entre si, em todo o seu perímetro, a fim de se evitar o acesso de animais à área experimental. A pastagem vegetou e permaneceu sem pastejo de setembro de 2014 a julho de 2015.

A capina manual das plantas espontâneas não se fez necessária, pois, tal procedimento foi sistematicamente executado antes do cercamento da área no ano

anterior. Esta prática aliada ao rápido crescimento e cobertura do solo pela pastagem suprimiu 100% das plantas daninhas que ocorriam na área, exceto na parte externa dos BE.

3.3.2 Corte de Nivelamento e Determinação da Biomassa Superficial Inicial

Nos dias 23 e 24 de julho de 2015 foi feito um corte homogêneo de nivelamento da pastagem à altura de 0,20 m com auxílio de gabarito, roçadeira costal e tesoura de jardim. A biomassa cortada foi retirada da área experimental. Com este procedimento objetivou-se simular um último pastejo no período anterior de crescimento da pastagem. Esta simulação considerou o pastejo característico da região, no qual o gado consome uma área muito próxima de 100% do limbo foliar.

No dia 25 de julho de 2015 foi feita a determinação da biomassa superficial inicial composta de lâmina foliar + bainhas foliares + colmos secos + perfilhos novos emergidos + serapilheira. Colmos com bainha novos ou secos foram cortados rente ao solo com tesourão de jardim e 15 amostras simples e aleatórias foram coletadas de todo o material vegetal da superfície uniformemente coberta da área experimental com auxílio de um gabarito de ferro vergalhão de 0,415 m x 0,10 m (0,0415 m²).

Em seguida, este material foi acondicionado em sacos plásticos previamente identificados de 0,16 m x 0,32 m e levado ao Laboratório de Fitotecnia do IEAA/UFAM para a secagem e pesagem. Para isso, foi transferido para sacos de papel jornal de 0,18 m x 0,36 m identificados e posto à secar em estufa de circulação forçada a 67°C por 72 h para pesagem em balança de precisão. A média de biomassa calculada à superfície foi 0,321 kg m⁻², que equivale a 3,21 Mg ha⁻¹. Com base neste valor de biomassa inicial obteve-se 1,45 Mg ha⁻¹ de C ou 5,30 Mg ha⁻¹ de CO₂ fixadas inicialmente neste material, segundo MÜLLER et al. (2009).

3.3.3 Delimitação e Identificação dos Blocos e Parcelas Experimentais

No dia 13 de agosto de 2015 foram delimitados os blocos e parcelas experimentais de acordo com Cayley & Bird (1996). As dimensões da área encontram-se na Figura 2, na qual TnBj são as representações dos tratamentos (Tn) e blocos

experimentais ou repetições dos tratamentos (Bn) aleatorizados por sorteio. Os tratamentos foram representados por $n = 1$ a 5 e as repetições por $j = 1$ a 4.

Os BE foram estabelecidos em quatro subáreas de solo homogeneamente coberto pela pastagem no interior da AEE, identificadas para essa finalidade. A delimitação de BE e parcelas experimentais (PE) foi feita com barras de ferro de 0,80 m de altura fixados verticalmente nos vértices de cada bloco e parcela. Fios de nylon fixado na extremidade superior das barras de ferro vinculou os vértices das áreas, fechando a área experimental nos BE e nas PE.

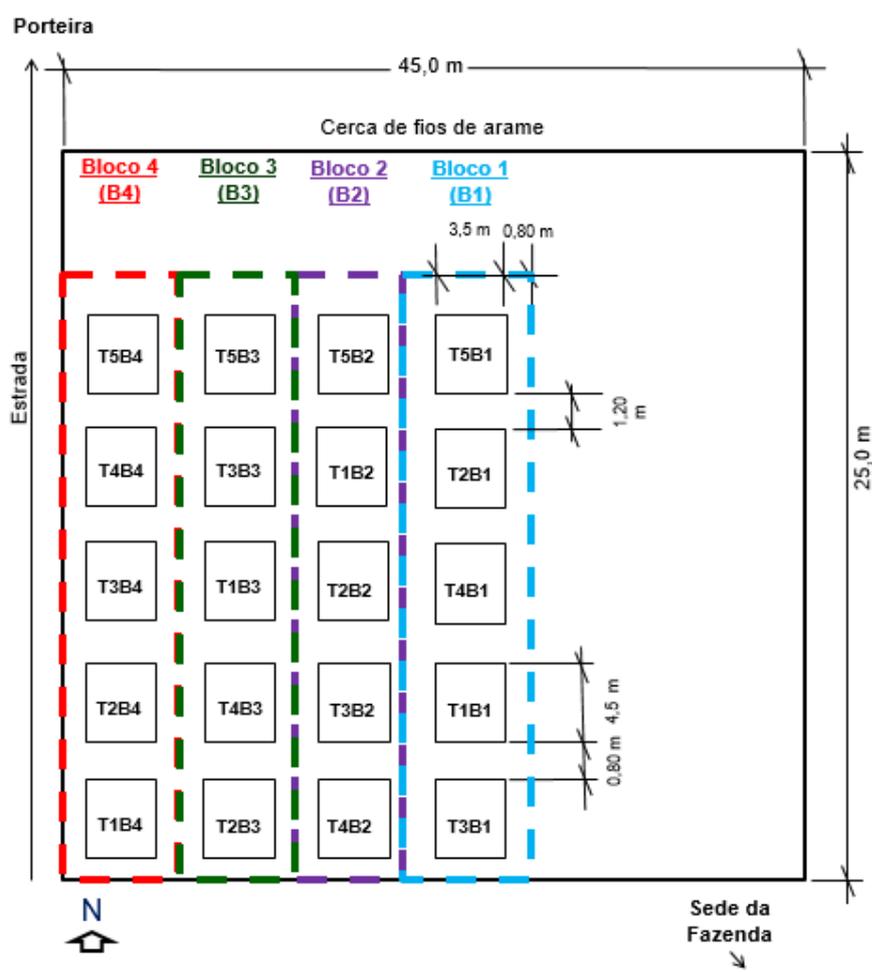


Figura 2. Delimitação da área específica e parcela experimental no interior do bloco.

De acordo com os tratamentos delineados, cada BE possuía 5 PE com 4,50 m de comprimento por 3,50 m de largura, totalizando-se 15,75 m². No interior de cada PE foi estabelecida uma área útil de 3,50 m x 3,0 m (10,50 m²). A distância entre uma PE e outra (0,80 a 1,0 m) serviu de bordadura.

A identificação dos BE foi feita com bandeira de plástico de cor branca, alocada na parte superior das barras verticais de ferro, fixadas nos vértices de cada bloco. Cada unidade experimental (PE = TnBj) foi identificada com bandeira de cor cinza. Cada PE teve um número sorteado de 1 a 20, que as aleatorizou para fins de coleta de dados de acordo com um mapa confeccionado com base na Figura 2.

3.4 AMOSTRAGEM PARA CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL ESPECÍFICA, ANTES DA INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

No dia 07/08/2015 foram coletadas 20 amostras simples, de 500 g, da camada de 0,0-0,05 m do solo da área total definida para os tratamentos sem queimada. No Laboratório de Fitotecnia do IEAA/UFAM a amostra foi pré-seca ao ar e manual e homogeneamente destorroada e misturada em balde plástico de 50 L, gerando-se um montante de solo do qual foram tomados 600 g. Esta amostra foi seca ao ar e novamente destorroada e passada em peneira de 2,0 mm de abertura, gerando-se uma amostra de terra fina seca ao ar (TFSA) da área sem queimada. Cerca de 350 g desta amostra foram separados, embalados e lacrados em sacos plásticos de 0,18 m x 0,36 m previamente identificados e armazenados a temperaturas entre 15 e 20 °C até o envio ao laboratório.

Da amostra de TFSA foi separada uma subamostra de 100 g de solo representativa dos tratamentos sem queimada para análises de boro (B água quente) e enxofre (fosfato de cálcio). Uma subamostra de 50 g deste solo também foi separada para análise das frações areia, silte e argila (%) no Laboratório de Solos do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente/IEAA da Universidade Federal do Amazonas/UFAM, em Humaitá, Amazonas.

3.5 FOSFATO DE ROCHA UTILIZADO NO EXPERIMENTO

O fosfato de rocha parcialmente acidulado Alvorada (FA) foi utilizado para preparo dos tratamentos. Este FA é o produto final do processo de acidulação parcial da fosforita Alvorada, moída e *in natura*, pela adição de ácido sulfúrico (H₂SO₄) + enxofre elementar. Parte deste FA pós-processado ainda se encontrava na forma da fosforita original.

Uma amostra de 0,20 Mg de FA farelado, foi tomada do lote de fevereiro de 2014 da mineradora Social S/A, em Registro, SP. Uma subamostra de cerca de 200 g foi pesada e quarteada para análise da composição química segundo a IN 28/2007 (BRASIL, 2007) no Laboratório de Química e Meio Ambiente do SENAI/CIC, em Curitiba, PR (Tabela 1). As frações granulométricas foram determinadas segundo a IN 28/2007 (BRASIL, 2007) no Laboratório de Fitotecnia do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente/IEAA da Universidade Federal do Amazonas/UFAM.

Tabela 1. Características químicas e granulometria do fosfato de rocha parcialmente acidulada Alvorada (FA).

Fonte	Teor de fósforo				Fração granulométrica (mm)						
	TTP	TTP ₂ O ₅ ¹	P ₂ O ₅ (CNA+H ₂ O) ³	P ₂ O ₅ (H ₂ O) ⁴	0,075	0,10	0,25	0,50	1,0	2,0	4,0
	-----g kg ⁻¹ -----				-----g kg ⁻¹ -----						
	118,00	270,00	76,30	28,30	64,00	150,70	236,80	300,30	40,60	0,00	0,00
FPA ¹	Outros macronutrientes			Micronutrientes							
	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo		
	-----g kg ⁻¹ -----			-----mg kg ⁻¹ -----							
	141,60	8,60	13,80	0,04	0,09	62,90	5,90	0,20	<0,01		

Nota: 207,2 g kg⁻¹ de FPA passaram na peneira de 0,075 mm; ¹TTP₂O₅: teor total de P₂O₅; ²TTP: teor total de fósforo; ³P₂O₅ CNA+H₂O: teor de P₂O₅ solúvel em citrato neutro de amônio + água; ⁴P₂O₅ H₂O: teor de P₂O₅ solúvel em água; ⁵P₂O₅ Ác 2%: teor de fósforo solúvel em ácido cítrico (2%).

Os teores totais dos elementos potencialmente tóxicos à pastagem (Cu, Zn, Pb e Cd) estiveram abaixo do nível máximo permitido pela IN 27/2006 do MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2006). Por isso, com base nestas informações e nos dados da Tabela 1, este FA pode ser considerado um material com qualidades química e física de fertilizante agrícola.

3.6 TRATAMENTOS

Os tratamentos foram constituídos pelo manejo da *B. brizantha* degradada com fosfatagem em substituição à queimada. Para isso, a pastagem foi submetida a níveis de fosfatagem e conduzida sem queimada comparativamente à queima da mesma pastagem sem fosfatagem.

As doses de P e da fonte do nutriente (Tabela 2) referentes aos T2, T3 e T4 foram calculadas para área das PE (15,75 m²) (ANEXO 1) que em seguida foram pesadas, embaladas em sacos plásticos de 0,18 m x 0,36 m e armazenadas em ambiente adequado até o momento de sua aplicação.

O tratamento 5 (T5) foi utilizado para comparação e esteve constituído pela pastagem queimada (Q) na ausência de fosfatagem e das adubações nitrogenada e potássica, simulando-se a forma tradicional de condução de pastagens na Amazônia.

Tabela 2. Composição de tratamentos (Tn)¹

(Tn)	Descrição	Composição				
		P (g m ⁻²)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	FA ² (g m ⁻²)	FA ² (kg ha ⁻¹)	FA/PE ³ (kg PE ⁻¹)
T1	0,0 kg ha ⁻¹ de P, Sem Queimada	0,15 ⁴	6,87	0,00	0,00	0,00
T2 ¹	25 kg ha ⁻¹ de P, Sem Queimada	2,50	57,25	21,20	212,04	0,22
T3	100 kg ha ⁻¹ de P, Sem Queimada	10,00	229,00	84,80	848,16	0,88
T4	200 kg ha ⁻¹ de P, Sem Queimada	20,00	458,00	169,60	1696,32	1,76
T5	Queimada	0,30 ⁴	13,74	0,00	0,00	0,00

¹Nível baixo de fósforo recomendado segundo Barcelos et al. (2011), a partir do teor total de fósforo no fosfato de rocha parcialmente acidulada Alvorada farelado; ²FA: quantidade de fosfato de rocha Alvorada (270,0 g kg⁻¹ de P₂O₅ total), massa seca, necessário para suprir o tratamento; ³FA/PE: quantidade de FA (12,04 dag kg⁻¹ de umidade), massa seca, aplicado na área útil de 15,75 m² das parcelas experimentais (PE) para suprir o tratamento; ⁴: Níveis prévios da análise de solo (Tabela 2) de 3,0 mg dm⁻³ de P no solo sob pastagem não queimada, e 6,0 mg dm⁻³ sob pastagem submetida à queimada, cujos cálculos de conversão encontram-se no ANEXO 2.

3.6.1 Aplicação de Tratamentos

3.6.1.1 Queimada, Coleta da Biomassa Superficial Inicial e de Solo após a Aplicação deste Tratamento

Os tratamentos foram estabelecidos no dia 14 de setembro de 2015, após uma primeira lâmina de precipitação maior que 2,0 mm. Primeiramente foi aplicado o tratamento 5, com queima da pastagem. Para sua aplicação foram construídos aceiros

por capina drástica com enxada ao redor da área experimental do tratamento 5 (T5). Em seguida, ateou-se fogo, contra o vento predominante, a partir de uma de suas bordas, no sentido de seu comprimento, conduzindo-se a queimada até seus limites em largura (3,50 m) e comprimento (4,50 m). O controle do fogo foi feito pulverizando-se água potável no limite da bordadura reservada aos tratamentos sem queimada.

No dia 15 de setembro, foi coletada a biomassa superficial inicial à superfície do solo no pós-queima (Figura 3) constituída por colmo + bainha e lâmina foliar semi-queimados antes no início do experimento. Para isso, um gabarito de ferro vergalhão de 0,415 m x 0,10 m (0,0415 m²) foi alocado sobre uma área de solo contendo o maior número de colmos semi-queimados em pé possível, obtendo-se o valor médio de 117 colmos. Esta média foi utilizada como base para a coleta da biomsemi-queimada de colmos da superfície da área útil das demais unidades experimentais. As lâminas foliares e bainhas foliares semi-queimadas foram coletadas com o mesmo gabarito posicionado no centro da área útil das PE.

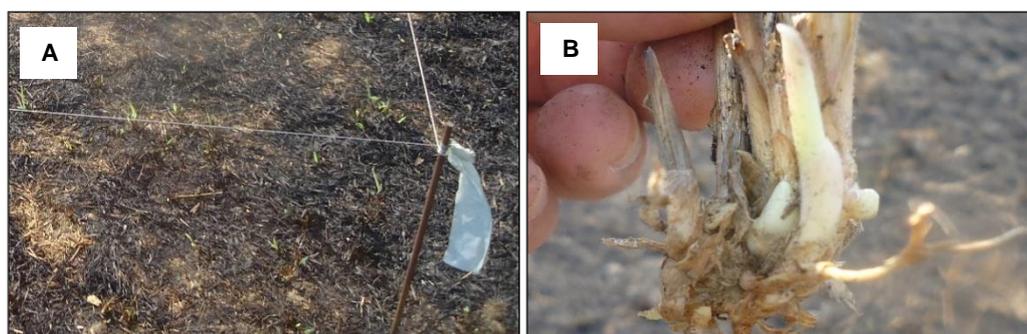


Figura 3. (A) Aspecto geral das áreas das unidades experimentais do tratamento 5, e; (B) Gemas vegetativas basais, 1 dia após a queima.

Os colmos + bainha semi-queimados (plantas) foram cortados rente ao solo com tesoura de jardim e retirados juntamente com as lâminas foliares semi-queimadas e acondicionadas em sacos plásticos identificados de 0,18 m x 0,36 m. Este material foi levado ao Laboratório de Fitotecnia do IEAA/UFAM onde foi transferido para sacos de papel jornal de 0,18 m x 0,36 m e submetidos à mesma metodologia de secagem e pesagem especificada no item 3.3.2. A biomassa superficial inicial média das 4 parcelas do T5 após a queimada foi 12,0 g m⁻² (0,012 kg m⁻² ou 0,120 Mg ha⁻¹).

No dia 30 de setembro de 2015, 11 dias após o início do experimento em 20/09/2015, com auxílio de trado holandês (TF10 da Sonda Terra), foram coletadas oito amostras simples, de 500 g, à profundidade de 0,0-0,05 m do Cambissolo da área total das parcelas do T5, que foram submetidas ao mesmo preparo pós-coleta especificado no item 3.4. No dia 02 de outubro de 2015 as amostras representativas do solo da área total dos T1 a T4 e da área do T5 foram enviadas ao Laboratório de Solos e Plantas da EMBRAPA/CPAFRO, em Porto Velho, RO, para realização das análises químicas do solo (DONAGEMA et al., 2011), antes do experimento. Cerca de 100 g de cada amostra foram encaminhadas para o Laboratório de Solos e Recursos Ambientais do IAC, em Campinas, para as análises de B e S (RAIJ et al., 2001). Os resultados das análises encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Características químicas¹ e físicas² de Cambissolo Háplico Alítico cultivado com *B. brizantha* com supressão de queimada (CXSQ) e com queimada (CXQ), antes da instalação do experimento.

Solo	Análise de rotina												
	pH (H ₂ O)	Al ³⁺	H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	CTC	SB	S ¹	P	V	m	COt ³
	-----cmol _c dm ⁻³ -----						--mg dm ⁻³ --		----%---		g kg ⁻¹		
CXSQ	5,00	1,02	5,00	2,01	1,50	0,09	8,55	4,50	9,00	3,00	42	8,75	11,36
CXQ	6,60	0,0	1,80	5,55	4,14	0,14	11,75	9,83	12,0	6,0	84	0,0	8,52
Micronutrientes, densidade aparente (Ds) e textura do solo													
Solo	B ²	Cu	Fe	Mn	Zn	Ds ³		Textura ⁴					
	-----mg dm ⁻³ -----					kg dm ⁻³	Areia	Silte	Argila				
CXSQ	0,08	4,25	297,59	8,02	2,29	1,31	349,70	452,15		181,87			
CXQ	0,10	3,13	1039,95	77,45	4,01								

^{1,2}Análises realizadas no Laboratório de Solos e Recursos Ambientais do IAC, em Campinas, SP; ^{3,4}: densidade aparente e textura do solo cujas análises foram realizadas no Laboratório de Fitotecnia do IEAA/UFAM, e textura do solo, analisada no Laboratório de Solos do IEAA/UFAM.

Os estoques de carbono iniciais referentes aos teores iniciais de COt na camada de 0,0-5,0 cm dos solos não submetido e submetido à queimada antes do experimento (VELDKAMP, 1994) foram, respectivamente, 7,44 Mg ha⁻¹ e 5,58 Mg ha⁻¹. Os teores iniciais de P disponível (Mehlich-1) na camada de 0,0-0,05 m de profundidade do solo da área das parcelas dos T1 a T4 (3,0 mg dm⁻³ de P) e do T5 (6,0 mg dm⁻³ de P) foram convertidos para g m⁻² de P (Tabela 2; ANEXO 2). Após conversão representaram os teores de P disponível no volume de 1,0 m² de solo à profundidade de 0,05 m (50,0 dm³ de solo), resultando em 0,15 g m⁻² para o solo das áreas do T1 a T4, e 0,30 g m⁻² para o solo da área do T5.

3.6.1.2 Dessecação e Aplicação dos Níveis de Fosfatagem

As quantidades de FA para suprir o T2, T3 e T4 (Tabela 2) foi feita após a dessecação de perfilhos que emergiram em função da umidade na superfície do solo gerada pelo orvalho noturno do período seco da região (Figura 4). O objetivo dessa dessecação foi uniformizar todos os tratamentos, de modo que todas as plantas emergissem de forma concomitante. Para isso, foram aplicadas nas parcelas experimentais quantidades proporcionais a 200 L ha⁻¹ de calda do herbicida de contato gramoxone 200 (Paraquat) com pulverizador costal de 20 L. Em seguida, o FA foi distribuído manual e homogêneo na superfície do solo das parcelas experimentais, simulando-se a distribuição obtida por uma adubadeira bem regulada.

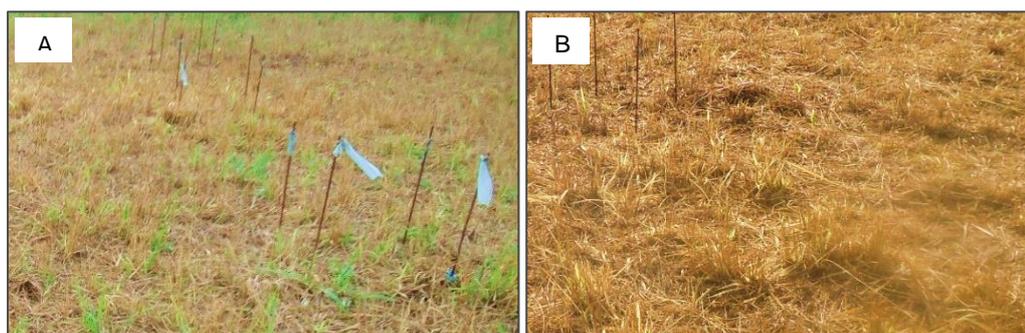


Figura 4. Aspecto geral da área dos tratamentos com fosfatagem sem queimada: (A) um dia antes da dessecação; (B) um dia após a dessecação.

Em função da aplicação dos tratamentos, outros nutrientes presentes na composição mínima do FA ou liberados pela combustão da biomassa superficial foram incorporados ao solo. As quantidades totais destes nutrientes foram calculadas com base em seu teor total no FA (Tabela 4) e convertidas para quantidades aplicadas, em g m⁻², pela metodologia aplicada ao P (ANEXO 2).

Tabela 4. Quantidades de cálcio, magnésio, enxofre e micronutrientes, em g m^{-2} , aplicadas ao solo juntamente com as quantidades de fosfato de rocha parcialmente acidulada (FA) para suprir os níveis de fosfatagem (T2, T3 e T4) e com a queimada.

Tratamento (T)	Quantidade do nutriente incorporada ao solo							
	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----g m ⁻² -----							
T1 ¹	20,14	9,200	0,450	0,004	0,212	14,880	0,401	0,115
T2 ²	23,142	9,382	0,743	0,0048	0,214	16,213	0,526	0,119
T3 ²	32,148	9,928	1,622	0,0072	0,220	20,212	0,901	0,131
T4 ²	44,156	10,656	2,844	0,0104	0,228	25,544	1,401	0,147
T5 ³	55,61	25,16	0,600	0,005	0,156	52,000	3,870	0,201

¹: Níveis dos nutrientes pré-existent no solo; ²: Níveis de nutrientes pré-existent no solo somados às quantidades aplicadas juntamente com os níveis baixo (T2), alto (T3) e muito alto (T4) de fosfatagem; ³: Níveis dos nutrientes liberados pela combustão da biomassa.

3.7 FERTILIZAÇÃO COM NITROGÊNIO E POTÁSSIO

Os ciclos do carbono (C), fósforo (P) e nitrogênio (N) são associados nos agroecossistemas de pastagem (SOUSSANA & LEMAIRE, 2014). Por isso, níveis agrônômicos de N juntamente com o K (Tabela 5) foram recomendados segundo Barcellos et al. (2011) na forma de ureia ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) e cloreto de potássio (KCl). Foram aplicados concomitantemente em superfície, após a 2ª chuva com lâmina maior que 5,00 mm no mês de setembro, que elevou o teor de umidade do solo (MALAVOLTA, 2006) no dia 19/09/2015 (Figura 5).

Tabela 5. Níveis agrônômicos de nitrogênio e potássio na forma de ureia e cloreto de potássio aplicadas nas parcelas experimentais dos tratamentos sem queimada.

Quantidades e fontes utilizadas para o suprimento de nitrogênio e potássio									
N	Ureia	N	Ureia	K	K ₂ O	KCl	K	K ₂ O	KCl
-----g m ⁻² -----		-----kg ha ⁻¹ -----		-----g m ⁻² -----			-----kg ha ⁻¹ -----		
12,0	26,67	120,0	266,67	2,9	3,5	5,88	29,0	35,00	58,33

Na manhã de 20/09/2015, os fertilizantes foram manual e homogêneo aplicados em cobertura nas parcelas referentes ao T1, T2, T3 e T4, dando início ao período experimental.

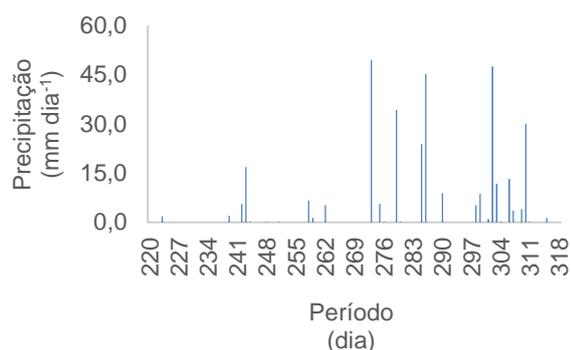


Figura 5. Precipitação média diária num período anterior e durante o período experimental.

3.8 COLETA DE DADOS

3.8.1 Mensuração do Índice Spad

O Índice Spad (ISpad) relaciona-se com o teor relativo de clorofila e N na lâmina foliar de plantas cultivadas (HURTADO et al., 2010). Por isso, no dia 30 de outubro de 2015, aos 40 dias após do início do período experimental, este ISpad foi aleatoriamente mensurado na segunda lâmina foliar completamente expandida do ápice para a base das plantas dos T1, T2, T3, T4 e T5 utilizando-se o clorofilômetro modelo SPAD Plus (Konica Minolta *Inc.*, Tokyo, Japan). Tal mensuração objetivou, de maneira geral, demonstrar o *status* de suficiência e, ou, insuficiência de N por meio do índice de cor das lâminas foliares da pastagem.

3.8.2 Determinação da Produtividade de Biomassa e Carbono de Biomassa

As produtividades de biomassa de lâmina foliar (Blfo), de colmo com bainha (BCb), de serapilheira (Bser), biomassa parcial atual (BPAg) composta pela soma da Blfo, BCb, Bser e biomassa parcial atual remanescente (BPrem) composta pela soma da BCb e Bser no agroecossistema foram quantificadas no Laboratório de Fitotecnia do IEAA/UFAM, em Humaitá/AM.

A coleta da Blfo e BCb foi feita no dia 13/11/2015 utilizando-se um gabarito de ferro vergalhão de 0,50 m x 2,40 m (Figura 6), totalizando 1,20 m² da área útil da PE amostrada onde o solo estava homogeneamente coberto pela pastagem. Todas

as plantas do interior do gabarito foram cortadas rente ao solo com tesoura de jardim e embaladas em sacolas plásticas identificadas e levadas ao Laboratório.



Figura 6. Gabarito de corte.

Este material foi manualmente separado em lâmina foliar e colmo + bainha, com auxílio de tesoura de corte. Em seguida, as lâminas foliares foram triplamente lavadas com água potável e uma primeira lavagem foi realizada com água destilada. Uma segunda lavagem do material foi feita em solução de ácido clorídrico (0,5%) para, em seguida, submetê-lo a uma última lavagem homogênea com água destilada abundante. Cada fração foi reembalada em sacos de papel jornal de 0,18 m x 0,36 m identificados e posta a secar em estufa de circulação forçada a 67°C por 72 horas.

No dia 16/11/2015 as produtividades de Blfo e BCb secos obtidas com gabarito foram determinadas por pesagem em balança de precisão. Os valores, em g gabarito⁻¹, foram convertidos para g m⁻² em planilha Excel (2013).

3.8.2.1 Separação da Biomassa de Lâminas Foliares para Análises Químicas

Após a lavagem e pesagem, 50% da Blfo seca foram manual e aleatoriamente separados para as análises foliares. Esse material foi imediatamente embalado em sacos de papel jornal de 0,18 m x 0,36 m e reembalado em sacolas plásticas identificadas e lacradas com fita adesiva. Seu armazenamento e preservação durou 12 dias em ambiente com temperaturas entre 10 e 12 °C até o momento de sua entrada no Laboratório de Solos e Plantas da Embrapa/Amazônia Ocidental para análises da concentração de macro e micronutrientes na lâmina foliar da pastagem (DONAGEMA et al., 2011).

3.8.3 Coleta, Preparo de Amostras e Determinação da Biomassa de Serapilheira

Após a coleta da Blfo e da BCb, foi coletada a Bser (lâminas foliares e bainhas secas e senescentes do período atual de crescimento + biomassa superficial inicial) com auxílio do gabarito de corte (Figura 6). Este gabarito foi alocado no local da coleta da Blfo e BCb e toda a Bser foi cortada com pá de corte nos limites do gabarito. Em seguida, foi rastelada, manualmente coletada e embalada em sacos plásticos de 20 L previamente identificados e levados para o Laboratório de Fitotecnia do IEAA/UFAM.

A Bser foi separada de torrões de solo e transferida para sacos de papel jornal de 0,18 m x 0,36 m identificados e posto a secar em estufa de circulação forçada a 67°C por 72 horas. Após a secagem a biomassa foi pesada em balança de precisão, gerando-se a produtividade de Bser, em g gabarito⁻¹ que, em seguida, foi convertida para g m⁻².

3.8.4 Quantificação da Biomassa Parcial Atual

A biomassa parcial atual do agroecossistema (BPAg) foi assim denominada por não contabilizar a biomassa de raízes e a biomassa de dejetos que são devolvidos ao sistema pela defecação dos animais. Foi calculada pela seguinte fórmula:

$$BPAg = Blfo + BCb + Bser \quad \text{Equação 1.}$$

Sendo:

BPAg = biomassa parcial atual no agroecossistema (g m⁻²);

Blfo = biomassa de lâmina foliar (g m⁻²);

BCb = biomassa de colmo com bainha (g m⁻²);

Bser = biomassa de serapilheira (g m⁻²).

3.8.4.1 Estimativa do Carbono Fixado na Biomassa Parcial Atual

Para a estimativa do estoque de C na BPAg (EstC BPAg) subamostras de 5,0 g de Blfo, BCb e de Bser, previamente secas em estufa de circulação forçada a 67°C por 72 horas, foram moídas em moinho tipo Wiley, alocadas em gral e levadas à mesma estufa a 105°C por 24 horas para a determinação da umidade residual das Blfo, BCb e Bser secas no Laboratório de Fitotecnia do IEAA/UFAM. A biomassa seca a 67°C subtraída desta umidade foi utilizada para o cálculo do C fixado nestes componentes de produtividade. O cálculo do C fixado na Blfo (CBlfo), BCb (CBCb) e Bser (CBser) foi feito pela multiplicação do valor da biomassa pelo fator 0,45 (MÜLLER et al., 2009). A estimativa do EstC BPAg foi calculada pela seguinte fórmula:

$$EstC\ BPAg = CBlfo + CBCb + CBser \quad \text{Equação 2.}$$

Sendo:

EstC BPAg: estoque de carbono parcial atual no agroecossistema ($Mg\ ha^{-1}$);

CBlfo: carbono da biomassa de lâmina foliar ($Mg\ ha^{-1}$);

CBCb: carbono da biomassa de colmo com bainha ($Mg\ ha^{-1}$);

CBser: carbono da biomassa de serapilheira ($Mg\ ha^{-1}$);

Foi denominado parcial por considerar somente o C da biomassa acima do solo no período de 55 dias de crescimento da pastagem à partir do início do experimento.

3.8.5 Quantificação da Biomassa Parcial Atual Remanescente

A biomassa parcial remanescente no agroecossistema (BPrem) foi calculada utilizando-se a BCb do período atual de crescimento e a Bser, em $g\ m^{-2}$. Para isso, considerou-se a característica do sistema de pastejo tradicional na Amazônia, no qual os animais consomem uma área próxima de 100% do limbo foliar. Esta metodologia não considerou a biomassa de raízes na camada de 0,0-0,05 m do solo nem a Blfo e biomassa de dejetos, que são devolvidos ao sistema via defecação dos animais e, por

isso, foi denominada parcial. Foi calculada da seguinte maneira:

$$BPrem = BCb + Bser \quad \text{Equação 3.}$$

Sendo:

BPrem = biomassa parcial atual remanescente no agroecossistema ($g\ m^{-2}$);

BCb = biomassa de colmo com bainha ($g\ m^{-2}$);

Bser = biomassa de serapilheira ($g\ m^{-2}$).

3.8.5.1 Estimativa do Carbono Fixado na Biomassa Parcial Atual Remanescente

O estoque de carbono parcial atual na *BPrem* (*EstC BPrem*) é a estimativa da quantidade do elemento que permanece no agroecossistema ao fim de um período inicial de pastejo (55 dias). A estimativa foi calculada pela seguinte fórmula:

$$EstC\ BPrem = CBCb + CBser \quad \text{Equação 4.}$$

Sendo:

EstC BPrem: estoque de carbono na biomassa parcial atual remanescente no agroecossistema ($Mg\ ha^{-1}$);

CBCb: carbono da biomassa de colmo com bainha ($Mg\ ha^{-1}$);

CBser: carbono da biomassa de serapilheira ($Mg\ ha^{-1}$).

Esteve denominado parcial por desconsiderar o C da biomassa de lâmina foliar, o C da biomassa de raízes e por ter sido analisado somente na camada de 0,0-0,05 m do perfil do solo até os 55 dias do início do experimento.

3.8.6 Coleta e Preparo de Amostras de Solo para Análises Químicas

No dia 16/11/2015, aos 55 dias após o início do experimento (20/09/2015), uma amostra representativa de solo, de 15 amostras simples, foi coletada com trado holandês (TF 10 Sonda Terra) da camada de 0,0-0,05 m de profundidade do solo de

cada parcela experimental (DONAGEMA et al., 2011). As amostras foram destorroadas e postas a secar ao ar na Casa de Vegetação do IEAA/UFAM, gerando-se a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), que foi embalada em sacos de papel jornal de 0,18 m x 0,36 m identificados e reembalados em sacola plástica transparente lacrada com fita adesiva. Em seguida, foi armazenado em ambiente seco entre 10 e 12°C até o momento da entrada no Laboratório de Solos e Plantas da Embrapa/CPAFRO, em Porto Velho/RO, para realização das análises de fertilidade química do solo.

3.8.7 Análises Químicas Realizadas no Solo e na lâmina foliar da *B. brizantha* cv. Marandu

Foram analisados: i) os atributos de acidez do solo (pH H₂O, acidez potencial (H+Al), alumínio trocável (Al³⁺), saturação por alumínio (m%)); ii) a capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB), saturação de bases (V%) e carbono orgânico total (COt); iii) fósforo (P), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) trocáveis, Cu, Fe, Mn e Zn pelo extrator Mehlich-1 (HCl 0,05 M + H₂SO₄ 0,0125 M), COt (DONAGEMA et al., 2011), e; iv) Teores de boro (B água quente) e enxofre trocável (S fosfato de cálcio) no solo segundo Raij et al. (2001). Também foram analisadas as concentrações foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn que foram utilizadas para o cálculo da acumulação destes nutrientes na lâmina foliar do pasto, pela seguinte equação:

$$NAc = CNf \times Blfo \quad \text{Equação 5.}$$

Sendo:

NAc = Nutriente acumulado ($g\ m^{-2}$);

CNf = Concentração do nutriente na lâmina foliar ($g\ g^{-1}$);

$Blfo$ = biomassa de lâmina foliar ($g\ m^{-2}$).

3.8.8 Teor e Estoque de Carbono Parcial Atual no Solo

O estoque de carbono parcial atual da camada de 0,0 a 0,05 m do perfil do solo (Est C solo) (VELDKAMP, 1994) foi calculado utilizando-se o teor COt determinado nas amostras de solo especificadas no item 3.8.4, e a densidade aparente do solo (Ds) (EMBRAPA, 1997). Foi denominado parcial atual por desconsiderar o C existente nas camadas de 0,05-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, que são consideradas no cálculo do estoque de C total no solo (FERNANDES & FERNANDES, 2008) e por ter sido avaliado somente até os 55 dias de experimentação.

No dia 17/11/2015 foram abertas 3 trincheiras de 0,15 m x 0,15 m x 0,15 m de profundidade com auxílio de enxada e pá reta para a determinação da Ds em cada parcela experimental. Da parede das trincheiras, foram coletadas 3 amostras simples e indeformadas de solo com auxílio de anel de Kopecky de 50,0 cm³ com bordas cortantes, para a determinação da Ds média e Est C solo de todos os tratamentos.

No laboratório de Fitotecnia do IEAA/UFAM o solo em excesso (Figura 7) foi retirado com espátula e levados à estufa de circulação forçada para secagem a 67°C por 24 h. A massa seca de solo foi obtida pela pesagem do anel com e sem solo em balança de precisão. O cálculo das densidades das amostras simples (EMBRAPA, 1997) foi efetuado em planilha Excel e, à partir delas, foi gerada a Ds média de 1,31 g cm⁻³ à profundidade de 0,0-0,05 m do solo. A Ds, portanto, é a média das densidades das amostras simples.



Fonte: www.google.com.br

Nota: as imagens da coleta em campo foram extraviadas. Por isso, foi inserida esta figura com o objetivo de ilustrar a retirada da amostra indeformada do perfil.

Figura 7. Amostra indeformada de solo para análise da densidade aparente do solo.

Este EstC soloi foi denominado parcial porque considerou somente a camada de 0,0-0,05 m e o período inicial de crescimento da pastagem. O cálculo da estimativa do EstC solo foi feito pela seguinte fórmula (WELDKAMP, 1994):

$$Est\ C\ solo = (COt \times Ds \times ec) / 10 \quad \text{Equação 6.}$$

Onde:

Est C solo: estoque de carbono orgânico parcial atual do solo ($Mg\ ha^{-1}$);

COt: teor de carbono orgânico total da camada de 0,0-0,05 m de solo ($g\ kg^{-1}$);

Ds: densidade aparente média da camada de 0,0-0,05 m de solo ($kg\ dm^{-3}$);

ec: espessura da camada considerada, em cm.

3.8.9 Estimativa dos Estoques Parcial Atual e Parcial Atual Remanescente de Carbono no Agroecossistema

Para o cálculo da estimativa do estoque de carbono parcial atual no agroecossistema (EstC PAg) foi utilizada a média de EstC solo do T1 a T4 e o EstC solo do T5. O cálculo foi efetuado pela seguinte fórmula:

$$EstC\ PAg = EstC\ BPAg + EstC\ Solo \quad \text{Equação 7.}$$

Sendo:

EstC PAg: estoque de carbono parcial atual no agroecossistema ($Mg\ ha^{-1}$);

EstC BPAg: estoque de carbono na biomassa parcial atual ($Mg\ ha^{-1}$);

EstC Solo: média de EstC solo do T1 a T4 e EstC solo do T5 ($Mg\ ha^{-1}$).

O cálculo da estimativa do estoque de carbono parcial atual remanescente (Est C Prem) refere-se à soma do C da Brem com a média de EstC solo do T1 a T4 e o EstC solo do T5. O cálculo desta estimativa foi efetuado pela seguinte fórmula:

$$EstC\ Prem = EstC\ Brem + EstC\ Solo \quad \text{Equação 8.}$$

Sendo:

EstC Prem: estoque de carbono parcial atual remanescente ($Mg\ ha^{-1}$);

C Brem: carbono da biomassa remanescente atual ($Mg\ ha^{-1}$);

EstC Solo: média de *EstC solo* do T1 a T4 e *EstC solo* do T5 ($Mg\ ha^{-1}$).

3.8.10 Estimativa da Perda Evitada de Dióxido de Carbono para Atmosfera

O cálculo da estimativa da perda evitada de dióxido de carbono (CO_2) para atmosfera em função da biomassa seca produzida foi feita pela conversão dos valores estimados de C da biomassa para CO_2 . Para isso, considerou-se que 1,0 Mg de C corresponde a 3,67 Mg de CO_2 , de acordo com a metodologia de Ronquin (2007).

3.9 CONCEITOS DE MANEJO E DEGRADAÇÃO DE PASTAGEM ADOTADOS NESTE TRABALHO

Neste trabalho, entenda-se por manejo de pastagem o conjunto de ações para melhorar a qualidade do solo e o desenvolvimento da forrageira. Considere-se pastagem degradada a *pastagem cultivada com produtividade biológica abaixo do potencial genético devido a algum fator relacionado à fertilidade química do solo alterado pelo manejo inadequado*. A *B. brizantha* Stapf. cv. Marandu da área experimental foi implantada na década de 90 e recebeu 1,0 Mg de calcário calcítico, encontrando-se no estágio 2 de degradação de Dias-Filho (2011b).

3.10 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Constatada a homogeneidade de variâncias (teste de Cochran, $p > 0,05$), os dados de solo, lâmina foliar e produtividade de biomassa foram submetidos às análises de variância (teste F, $p < 0,05$) e de comparações de médias (teste de Tukey, $p < 0,05$) no software MStatC, da Michigan State University, USA. A análise de correlação linear de Pearson (COHEN, 1988) foi feita em planilha Excel (2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLO E LÂMINA FOLIAR

Os atributos químicos de solo e lâmina foliar da *B. brizantha* apresentaram variâncias homogêneas (teste de Cochran, $p > 0,05$) e, por isso, não houve transformações de dados. Os tratamentos alteraram o pH H₂O, a soma de bases (SB), a saturação de bases (V%) e os teores de Ca²⁺, Mg²⁺, P e SO₄²⁻ do solo, as concentrações foliares de P, Mg, S, Fe e Mn e a acumulação de macro e micronutrientes (teste F, $p < 0,05$) (Tabela 6). Os teores de K⁺, B, Cu²⁺, Fe²⁺, Mn²⁺ e Zn²⁺ no solo e as concentrações foliares de Ca, K, N, B, Cu e Zn não sofreram influência dos tratamentos (teste F, $p < 0,05$).

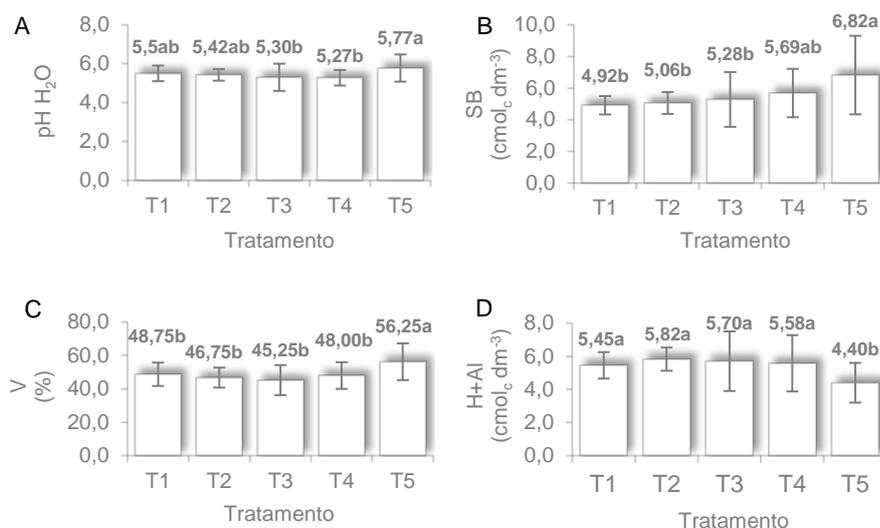
4.1.1 pH em H₂O, Acidez Potencial, Bases Trocáveis, Soma de Bases e Saturação de Bases do Solo

O solo apresentou acidez média em todos os tratamentos segundo Alvarez et al. (1999). No entanto, os maiores valores de pH H₂O (Figura 8A), SB (Figura 8B) e V% (Figura 8C) e menor H+Al (Figura 8D) ($p > 0,05$) foram verificados com o T5. Resultados semelhantes têm sido verificados em períodos curtos após a queimada (COSTA & RODRIGUEZ, 2015; PEREIRA & BRAGA, 2014; TOMASI et al., 2012; SILVA et al., 2006; FERNANDES & FERNANDES, 2002; ALMENDROS et al., 1997; FRITZE et al., 1994; KAUFFMAN et al., 1994) que, provavelmente, devem-se à reação alcalina das cinzas (DEMEYER et al., 2001; MUSE & MITCHELL, 1995; OHNO, 1992) e à decomposição da biomassa semi-queimada não-inerte e, ou, de raízes, fomentada pelos nutrientes liberados do material queimado (SKJEMSTAD & GRAETZ, 2003). Este processo libera ácidos orgânicos de baixo peso molecular que complexam o H⁺ e Al³⁺ deslocados pelo Ca²⁺ e Mg²⁺ pré-existentes no solo e oriundos das cinzas, elevando o pH, SB, V% e reduzindo a H+Al do solo (REDIN et al., 2014; PAVINATO & ROSOLEM, 2008; CIOTTA, 2004; PAVAN, 1997; POHLMAN & McCOLL, 1986).

Tabela 6. Resumos das análises de variância (teste F) dos atributos químicos de solo e lâmina de *B. brizantha* Stapf. cv. Marandu. 36

Fonte de variação	GL	Atributos de acidez, CTC, soma de bases e saturação por bases do solo											
		pH H ₂ O	Al ³⁺	H+Al	m	CTC	SB	V	-	-	-	-	
		---cmol _c dm ⁻³ ---			(%)	---cmol _c dm ⁻³ ---		(%)					
Tratamento	4	4,89**	2,34 ^{NS}	6,21***	2,36 ^{NS}	0,64 ^{NS}	7,92***	7,54***	-	-	-	-	
Bloco	3	4,29**	2,75 ^{NS}	5,98***	3,16 ^{NS}	0,91 ^{NS}	3,42 ^{NS}	3,22 ^{NS}	-	-	-	-	
Erro	12	0,033	0,032	0,21	10,958	0,292	0,305	9,650	-	-	-	-	
CV (%)		3,33	49,97	8,50	50,16	4,94	9,94	6,34	-	-	-	-	
C		0,325	0,540	0,372	0,521	0,386	0,550	0,328	-	-	-	-	
Fonte de variação	GL	Macronutriente no Solo						Micronutriente no Solo					
		P	Ca	Mg	S	K	N	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
		mg dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----				-----mg dm ⁻³ -----						
Tratamento	4	633,09***	2,53*	4,45**	40,56***	1,84 ^{NS}	NA	3,03 ^{NS}	0,40 ^{NS}	1,57 ^{NS}	1,36 ^{NS}	0,21 ^{NS}	
Bloco	3	0,81 ^{NS}	4,41**	5,65**	1,98 ^{NS}	1,91 ^{NS}	-	0,43 ^{NS}	1,10 ^{NS}	2,06 ^{NS}	2,45 ^{NS}	2,37 ^{NS}	
Erro	12	1,776	0,126	0,069	1,193	0,0001	-	0,0001	0,269	34153,8	20,771	0,263	
CV (%)		9,23	11,46	11,41	11,94	15,21	-	8,43	27,95	25,97	23,28	26,17	
C		0,590	0,426	0,552	0,407	0,360	-	0,404	0,448	0,334	0,420	0,429	
Fonte de variação		Concentração do Macronutriente na lâmina foliar						Concentração do Micronutriente na lâmina foliar					
		P	Ca	Mg	S	K	N	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
		-----g kg ⁻¹ -----						-----mg kg ⁻¹ -----					
Tratamento	4	15,41***	0,19 ^{NS}	5,78***	6,86***	0,39 ^{NS}	0,53 ^{NS}	0,84 ^{NS}	1,44 ^{NS}	2085,77***	12,28***	0,78 ^{NS}	
Bloco	3	1,39 ^{NS}	0,04 ^{NS}	2,37 ^{NS}	0,59 ^{NS}	1,11 ^{NS}	0,88 ^{NS}	2,99 ^{NS}	0,55 ^{NS}	0,74 ^{NS}	1,16 ^{NS}	0,41 ^{NS}	
Erro	12	0,020	0,065	0,181	0,011	3,007	1,301	2,431	0,144	7,537	44,287	1,999	
CV (%)		7,17	11,02	9,40	13,92	10,07	9,35	35,14	10,79	3,36	7,93	11,32	
C		0,548	0,468	0,285	0,590	0,342	0,348	0,373	0,311	0,455	0,385	0,295	
Fonte de variação		Acumulação do Macronutriente na lâmina foliar						Acumulação do Micronutriente na lâmina foliar					
		P	Ca	Mg	S	K	N	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
		-----g m ⁻² -----						-----mg m ⁻² -----					
Tratamento	4	491,32***	51,50***	75,43***	170,77***	40,13***	75,92***	33,47***	47,20***	55,48***	66,78***	45,89***	
Bloco	3	1,68 ^{NS}	1,82 ^{NS}	0,42 ^{NS}	0,20 ^{NS}	0,95 ^{NS}	3,34 ^{NS}	0,52 ^{NS}	0,80 ^{NS}	0,34 ^{NS}	3,22 ^{NS}	1,77 ^{NS}	
Erro	12	0,01	0,006	0,030	<0,0001	0,349	0,133	0,077	0,015	5,456	9,361	0,201	
CV (%)		5,45	12,51	13,32	9,06	13,27	10,82	20,78	12,83	12,15	12,24	12,93	
C		0,413	0,434	0,542	0,287	0,562	0,619	0,487	0,287	0,510	0,558	0,591	

GL: graus de liberdade; CV (%): coeficiente de variação (%); C: Estatística do teste de Cochran para p>0,05; ***: valor significativo para p<0,01; **: significativo (p<0,05); *: valor significativo para p<0,10; NS: valor não significativo; NA: disponibilidade no solo não analisada no Brasil.



Nota: DMS (diferença mínima significativa do teste de Tukey ($p < 0,05$): A = 0,409; B = 0,343; C = 7,005; D = 1,033; Médias sobre a coluna vertical seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 8. Médias de: (A) pH em água, (B) acidez potencial, (C) soma de bases e, (D) saturação de bases do solo em função dos tratamentos.

Nas pastagens periodicamente queimadas, comparadas ou não a práticas de melhoramento da fertilidade do solo, após longos períodos após o uso do fogo os resultados têm sido contrários a estes. Dessa forma, torna-se evidente que, no curto prazo, a superioridade da queimada deve-se, tão-somente, à predominante reação das cinzas que contrastam com a estabilização ou até redução dos valores assumidos pelo pH, H+Al, SB, V% em níveis anteriores à medida que aumenta o tempo para avaliação no pós-queimada (DICK et al., 2008; ARAÚJO et al., 2004; RHEINHEIMER et al., 2003; HERINGER et al., 2002a; FERNANDES & FERNANDES, 2002).

4.1.2 Alumínio Trocável, Saturação por Alumínio e Capacidade de Troca de Cátions do Solo

As médias de Al^{3+} mostraram-se, todas, notavelmente abaixo do que se verifica nos solos da região de Humaitá (MOREIRA et al., 2005), enquadrando-se, juntamente com a m%, nas classes baixa a muito baixa de Alvarez et al. (1999). A média global de Al^{3+} no solo que recebeu FA sem queimada ($0,42 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ocupou cerca de 8% das cargas de uma CTC média adequada (ALVAREZ et al., 1999) e maior que nos

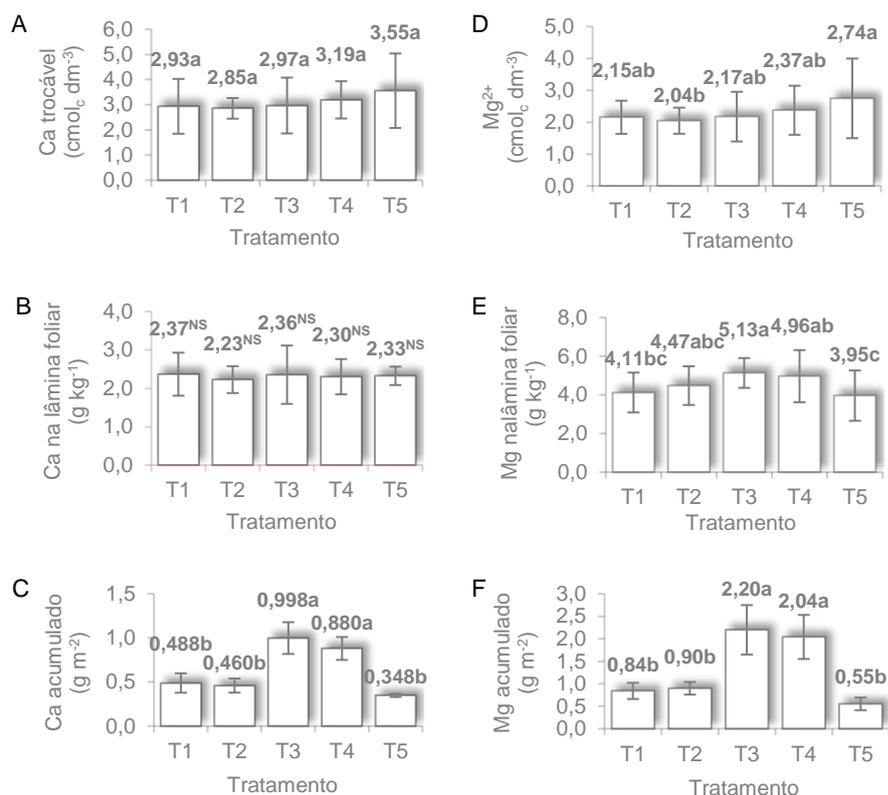
solos da região (MOREIRA et al., 2005) e que, de acordo com relato de Liang et al. (2006), não foi alterada nem mesmo pelo T5, que ocasionou 2,5% de saturação do solo. Tais verificações embasam a afirmação de que tanto a CTC quanto o Al^{3+} e m% (BARCELLOS et al., 2011; SOUZA et al., 2007) não são qualificados como limitantes ao crescimento inicial, produtividade e, conseqüentemente, acúmulo de C pela *B. brizantha*.

4.1.3 Cálcio, Magnésio e Potássio no sistema Solo-*B. brizantha* Stapf. cv. Marandu

Os valores médios e semelhantes de Ca^{2+} no solo ($p>0,05$) enquadraram-se nas classes de fertilidade média a boa (Figura 9A) enquanto para o Mg^{2+} (Figura 9D), a despeito da superioridade estatística do T3, T4 e T5, todos os tratamentos enquadraram o teor do nutriente na classe muito boa de fertilidade de Alvarez et al. (1999). Por isso, sugere-se que não houve influência das quantidades crescentes de Ca^{2+} aplicadas nos T2 a T4 (Tabela 4) e que, mesmo o T5, adequou o teor do nutriente no solo, o que se deve à liberação do cátion a partir das cinzas da biomassa queimada.

Tanto o FA quanto a queimada elevaram os teores de Mg^{2+} no solo aos 55 dias de experimentação. De maneira diferente, diversos autores verificaram aumento de Ca^{2+} e Mg^{2+} imediatamente após a queimada comparativamente a solos sob pastagem não queimada, com ou sem uso de fertilizantes (TOMASI et al., 2012; SILVA et al., 2006; RHEINHEIMER et al., 2003; FERNANDES & FERNANDES, 2002; KAUFFMAN et al., 1994).

Teores semelhantes de Ca^{2+} ocasionaram uma concentração foliar global média do nutriente igual a $2,31 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 9B), que esteve abaixo do limite de suficiência de Bernardi et al. (2011) e Werner et al. (1996). Isso significa que nem todo o Ca^{2+} foi absorvido neste início de crescimento do pasto. Provavelmente, houve competição com K^+ aplicado e, principalmente, Mg^{2+} que inibiu a absorção de Ca^{2+} em função do alto teor no solo (Figura 9D) (MARSCHNER, 2012; EPSTEIN & BLOOM, 2006; FURLANI, 2004; BÜLL & NAKAGAWA, 1995) e na lâmina foliar do pasto (BERNARDI et al., 2011; WERNER et al., 1996), com exceção da queimada, que se adequou à faixa de suficiência.



Nota: DMS (diferença mínima significativa do teste de Tukey, $p < 0,05$), sendo (A) = 1,461; (B) = NS (teste F não significativo); (C) = 0,257; (A) = 0,592; (B) = 0,959; (C) = 0,390; (D) = 0,592; (E) = 0,959; (F) = 0,390; Médias sobre a coluna vertical seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

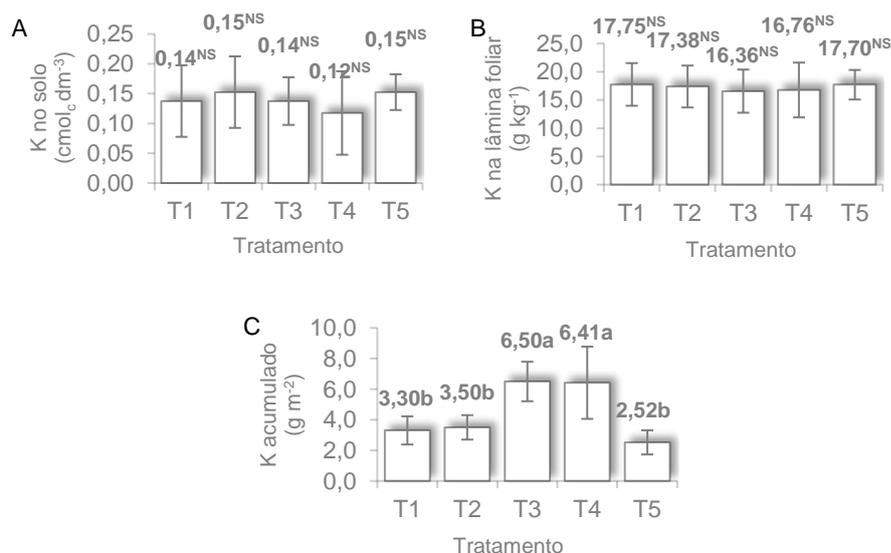
Figura 9. Médias de cálcio trocável no solo, concentração e acumulação na lâmina foliar de *B. brizantha* Stapf. cv. Marandu em função dos tratamentos.

Por outro lado, as plantas acumularam mais Ca (Figura 9C) ao serem submetidas aos T3 e T4 ($p > 0,05$). Assim, cabe salientar que se o teor de Ca^{2+} no solo mostrou-se adequado e, se o valor médio absorvido esteve abaixo do limite de exigência da espécie, então, as maiores acumulações deste nutriente devem-se à maior quantidade de BIfo produzida com a aplicação destes tratamentos (Figura 16B).

O Mg foi adequadamente absorvido em todos os tratamentos, inclusive a testemunha (T1), não se constituindo fator limitante da produtividade do pasto (MARSCHNER, 2012; LOPES & GUILHERME, 2007; FURLANI, 2004). No entanto, maiores concentrações foliares e acumulações do nutriente foram verificadas no T3 e T4 (Figura 9E), responsáveis por até 25,56% mais Mg acumulado em relação ao T5 ($p > 0,05$) (Figura 9F).

Ao se analisar a acumulação média de Mg ($2,12 \text{ g m}^{-2}$) nestes tratamentos, verifica-se a exportação de $1,02 \text{ g m}^{-2}$ de Mg a mais que a quantidade aplicada no solo (Tabela 4). Ou seja, houve um déficit do nutriente que pode ter sido suprido pelo Mg^{2+} pré-existente no solo e, ou, liberado na decomposição de raízes e, ou, de parte da biomassa superficial em contato com o solo.

No caso do K, uma única dose aplicada em conjunto com o FA na pastagem não queimada, ocasionou a média global de $0,14 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K^+ ($54,74 \text{ mg dm}^{-3}$) (Figura 10A). Já a queima da biomassa, muito provavelmente, promoveu a liberação de K^+ (CAVALCANTI, 1978³ apud PEREIRA & PERES, 1985) em quantidade suficiente para explicar os valores numericamente próximos de K^+ no solo do T5 em relação aos demais tratamentos que receberam fertilização potássica básica (Tabela 5).



Nota: (A) e (B) = NS (teste F não significativo); DMS (diferença mínima significativa do teste de Tukey ($p < 0,05$), sendo (C) = 1,332; Médias sobre a coluna vertical seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 10. Médias de potássio no solo, concentração e acumulação na lâmina foliar de *B. brizantha* Stapf. cv. Marandu em função dos tratamentos.

³CAVALCANTI, L.H. Efeito das cinzas resultantes da queimada sobre a produtividade do estrato herbáceo subarbuscivo do Cerrado de Emas. (Tese de Doutorado) Instituto de Biociências, USP, 1978. 219 p.

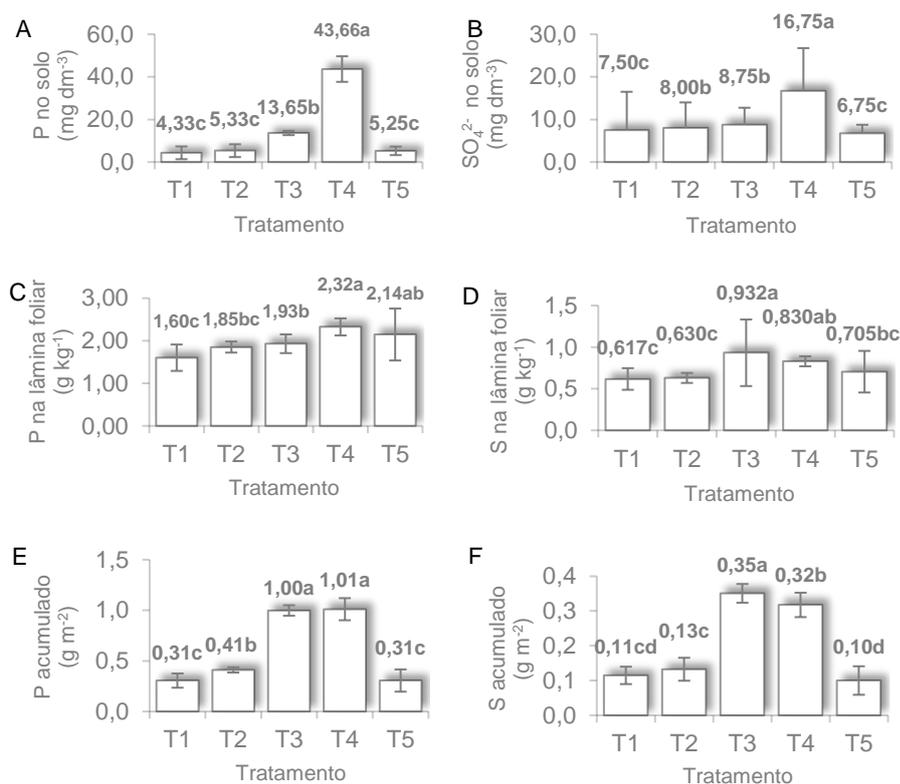
A média de K^+ esteve acima dos teores normalmente encontrados nos solos intemperizados da região (LOPES & GUILHERME, 2007; MOREIRA et al., 2005), enquadrando-se na classe de fertilidade média de Bernardi et al. (2011) e Alvarez et al. (1999). Isso permitiu às plantas a absorção média global de $17,17 \text{ g kg}^{-1}$ de K (Figura 10B), que se adequou às exigências da *B. brizantha* (BERNARDI et al.; 2011; WERNER et al., 1996) e, em função das maiores produtividades de BIfo do T3 e T4 (Figura 16B), também ocasionaram maior acumulação do nutriente (Figura 10C).

4.1.4 Fósforo, Enxofre e Nitrogênio no sistema Solo-*B. brizantha* Stapf. cv. Marandu

A fosfatagem melhorou a disponibilidade de P e SO_4^{2-} no solo (Figura 11A). O P aumentou, respectivamente, 61,5% e 87,9% para o T3 e T4 comparativamente ao T5 ($p>0,05$). Houve mudança nas classes de fertilidade do solo para média a muito boa de Bernardi et al. (2011) e Alvarez et al. (1999) e adequada segundo Andrade et al. (2014) em relação aos baixos teores do nutriente normalmente encontrados nos solos da região (LOPES & GUILHERME, 2007; MOREIRA et al., 2005).

Quando o solo adquiriu umidade adequada, o que ocorreu com a precipitação de 19/09/2015 (Figura 5), iniciou-se a liberação da parte solúvel de P de fontes como o FA (NOVAIS & SMITH, 1999) que aumentou sua disponibilidade no solo. A parte não-acidulada deste fosfato de rocha também deve ter contribuído com parte deste P disponível, pois, ao entrar em contato com o ambiente ácido do solo (Tabela 1) bem suprido de água, sofre gradual dissociação química, transformando o P mineral insolúvel na forma disponível do nutriente ($H_2PO_4^{-1}$) (NOVAIS & SMITH, 1999).

Por outro lado, nem sempre a adequada disponibilidade no solo ocasionou maior absorção de P pelo pasto uma vez que houve semelhança dos teores foliares entre si no T3, T4 e T5 ($P>0,05$) (Figura 11C). No entanto, os valores de P foliar foram todos superiores ao que é considerado normal por Furlani (2004) e Malavolta et al. (1997), denotando que quaisquer dos tratamentos melhoram o suprimento do nutriente às plantas em início de crescimento.



Nota: DMS (diferença mínima significativa do teste de Tukey, $p < 0,05$), sendo (A) = 3,005; (B) = 2,463; (C) = 0,318; (D) = 0,236; (E) = 0,225; (F) = 0,022; Médias sobre a coluna vertical seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 11. Médias de fósforo e enxofre no solo, concentração e acumulação na lâmina foliar de *B. brizantha* Stapf. cv. Marandu em função dos tratamentos.

Estes resultados embasam a afirmação de que o T3, T4 e T5 ocasionaram consumo desnecessário de P pelo pasto, evidenciando que mesmo o T1 e T5 ocasionaram adequada absorção de P (DIAS-FILHO, 2011b) aos 55 dias de experimentação. Por isso, para se suprir P adequadamente a *B. brizantha* neste estágio de degradação, basta a aplicação de um nível baixo ou médio de P, ou simplesmente, suprimir a prática da queimada. Muitos autores relataram que o aumento do suprimento de P solúvel aumenta sua disponibilidade em solos deficientes aumentando, concomitantemente, a concentração do nutriente na folha de pastos em início de crescimento (MACHADO & SOUZA, 2012; MACHADO et al., 2011; LANA et al., 2007 DECHEN & NACHTIGAL, 2007).

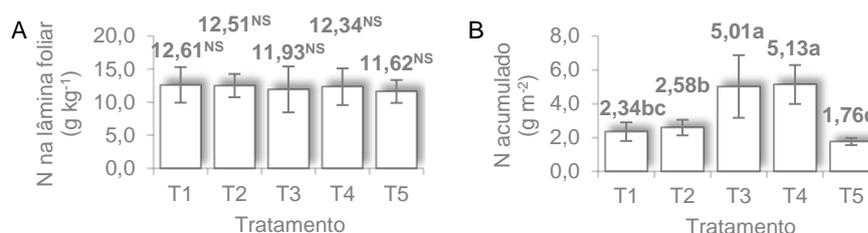
Diferentemente disso, somente o T3 e T4 aumentaram a acumulação de P (Figura 11E) cuja média mostrou-se 69,19% maior que no T5 ($p > 0,05$). Considerando-se a semelhança do P foliar verificada no T3, T4 e T5, sugere-se que nem sempre maiores concentrações aumentam a acumulação do nutriente. Isso é explicável porque

a acumulação não depende só do P foliar, mas também da Blfo produzida (Equação 1). Por isso, é fato que mesmo uma concentração adequada de P, como ocorreu no T5 (BERNARDI et al., 2011; WERNER et al., 1996), pode gerar menor acumulação do nutriente, evidenciando como principal responsável por isso a reduzida produtividade de Blfo neste tratamento (Figura 16B).

Semelhantemente ao P, a fosfatagem ocasionou aumento na disponibilidade de sulfato (SO_4^{2-}) no solo ($p > 0,05$) (Figura 11B), que no T4 mostrou-se 59,70% maior que no T5, adequando-se à classe de alta fertilidade (SOUZA & LOBATO, 2004; VITTI, 1989). Dentre os componentes do FA está o S (Tabela 1). Parte deste S deve ter sido liberado no solo na forma de SO_4^{2-} juntamente com o P solúvel. E, se no momento da aplicação existia S na forma elementar no FA, ao entrar em contato com o ambiente oxidante e adequadamente úmido do solo, pode ter sido convertido a SO_4^{2-} e, tal como relataram Vitti et al. (2015), contribuiu para o aumento da disponibilidade, absorção (EPSTEIN & BLOOM, 2006; MALAVOLTA, 2006) e concentração de S na lâmina foliar do pasto ($p < 0,05$) (Figura 11D). De acordo com Rosolem et al. (2007) e Vitti et al. (2015), quando o S é aplicado junto, ou está presente na fonte de P, ocorre aumento da disponibilidade no solo e absorção de SO_4^{2-} pela *Brachiaria spp.* De acordo com Bernardi et al. (2011) e Werner et al. (1996), somente o T3 e T4 adequaram o S foliar às exigências das *Brachiaria spp.*, ocasionando maiores acumulações do nutriente (Figura 11F) que, à semelhança do P, devem-se às maiores quantidades de Blfo produzidas com estes tratamentos (Figura 16B). Quanto à queimada, a menor disponibilidade de SO_4^{2-} no solo e S foliar ocorreu, muito provavelmente, devido à redução do teor total do nutriente no solo pela combustão da biomassa e liberação de SO_2 na atmosfera (RIBEIRO & ASSUNÇÃO, 2002). Adicionalmente, as altas precipitações durante o período experimental (Figura 5) contribuíram para a lixiviação ou arraste de SO_4^{2-} do solo descoberto pela ação do fogo (LOPES & GUILHERME, 2007; BARBOSA & FEARNSSIDE, 2000).

Sugere-se, por conseguinte, que o P e S também não se constituíram fatores limitantes à produtividade e acumulação de C na biomassa da pastagem submetida ao T3 e T4. O S foliar abaixo das exigências da espécie nos demais tratamentos, incluindo-se o T5, denotam a necessidade de suplementação do nutriente quando níveis menores de FA são aplicados aos solos destes agroecossistemas.

Em relação ao N, um único nível aplicado ao solo do T1 a T4 (Tabela 5), provavelmente melhorou a disponibilidade de nitrato (NO_3^-) na solução do solo sem, no entanto, elevar a absorção e concentração foliar do nutriente cuja média global esteve abaixo do limite de suficiência ($12,34 \text{ g kg}^{-1}$) para *B. brizantha* segundo Bernardi et al. (2011) e Werner et al. (1996). No caso da queimada, a possível melhora na fertilidade pode-se dever ao N liberado da biomassa pela combustão, ocasionando a concentração foliar verificável na Figura 12A. Segundo Luizão et al. (2009) e Ribeiro & Assunção (2002), as queimadas não só causam perdas de N para atmosfera, mas também incorporam NO_3^- no solo pela mineralização da biomassa das pastagens que, à partir disso, pode ser livremente absorvido pelas plantas (TAIZ & ZEIGER, 2013; EPSTEIN & BLOOM, 2006; MALAVOLTA, 2006).



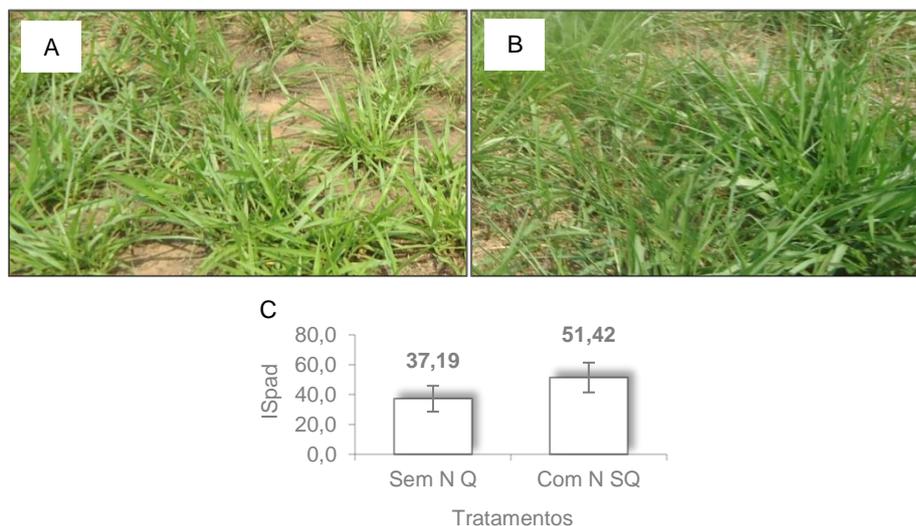
Nota: (A) = NS (teste F não significativo); DMS (diferença mínima significativa do teste de Tukey ($p < 0,05$), sendo (B) = 0,822; Médias sobre a coluna vertical seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 12. Médias de nitrogênio e potássio no solo, concentração e acumulação na lâmina foliar de *B. brizantha* Stapf. cv. Marandu em função dos tratamentos.

No entanto, é cabível salientar que o N absorvido do solo do T5 não se mostrou evidente pelo verde-escuro característico de pastos bem supridos do nutriente (EPSTEIN & BLOOM, 2006; MALAVOLTA et al., 1997), tal como verificado nos tratamentos com fosfatagem e sem queimada. Ao contrário disso, as plantas apresentavam um verde-claro amarelado (Figura 13A) que impressiona o pecuarista mas que, na verdade, é a cor característica de plantas que já sofrem com a baixa disponibilidade de NO_3^- no solo (MALAVOLTA, 2006; EPSTEIN & BLOOM, 2006) e que contrastam com as plantas bem supridas do nutriente (Figura 13B).

O que se sabe atualmente é que o N foliar correlaciona-se positivamente com a concentração de clorofila nas lâminas foliares (BLACKMER & SCHEPERS, 1994),

estimada indiretamente por medidores portáteis de monitoramento rápido das respostas das plantas à disponibilidade de N (HURTADO et al., 2008; ARGENTA et al., 2004; VARVEL et al., 1997).



Nota: em (C) as médias foram geradas de 909 amostras ha⁻¹; Desvio padrão do ISpad de (A): 2,20; Mediana do ISpad de (A): 36,87; Desvio padrão do ISpad de (B): 1,67; Mediana do ISpad de (B): 51,04.

Figura 13. Aspecto visual da pastagem nos tratamentos aos 40 dias do início do período experimental: (A) sem aplicação de N (Sem N Q), e; (B) com aplicação de N (Com N SQ); (C) Índice Spad de A (Sem N Q) e B (N SQ).

Neste trabalho, as plantas cujo N absorvido foi unicamente aquele advindo da combustão da biomassa apresentaram a média de Índice Spad (ISpad) 27,67% menor que a média global dos tratamentos com fosfatagem + N e K sem queima da pastagem (Figura 13C). Segundo Dechen & Nachtigal (2007), a menor disponibilidade de N (NO₃⁻) no solo significa menor teor de clorofila na planta e, conseqüentemente, menor utilização da radiação e produção de biomassa com conseqüente redução do C nela fixado.

A cor verde escura das plantas submetidas aos T1 a T4 pode-se dever à absorção sinérgica do N aplicado e do P solúvel do FA (MACIEL et al., 2007; NOVAIS & SMITH, 1999), que pode ter levado as plantas à maior utilização do N absorvido (Tabela 5) para síntese de clorofila (MARCHNER, 2012; MALAVOLTA et al., 1997). No entanto, se as concentrações foliares do nutriente foram numericamente semelhantes e enquadram-se numa mesma classe de suficiência para as plantas (BERNARDI et al., 2011; WERNER et al., 1996). Isso se deve ao fato de

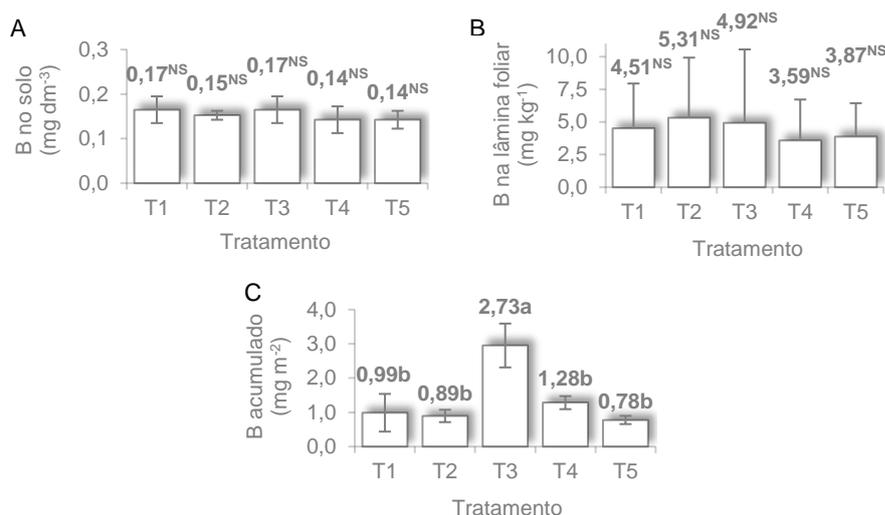
que plantas com ISpad diferentes, por dedução, só podem possuir teores foliares de clorofila diferentes. Porém, o N não está presente exclusivamente nas clorofilas (TAIZ & ZEIGER, 2013) e, assim, o NO_3^- das plantas com menor índice de cor deve estar compondo substâncias distintas da clorofila, ou, simplesmente acumulado e sem utilização nas células foliares. Este fenômeno ocorre em função do excesso ou mesmo pela carência de outros nutrientes tais como o P, Fe, Mn e Zn, dado o desequilíbrio entre si (DECHEN & NACHTIGAL, 2007; FREIRE et al., 2005). Por conseguinte, existe suporte para se afirmar que a queima da *B. brizantha* impinge no pecuarista somente a falsa ideia de “melhora da pastagem”, causada pelo verde-claro das plantas. Muito provavelmente, este tom de cor se acentua com o aumento das precipitações, que lixiviam o NO_3^- do perfil do solo, reduzindo a absorção do nutriente (KNICKER, 2007). Isso ocasiona o subdesenvolvimento das plantas, que é o sintoma mais característico das deficiências de N proteico e de P na forma de ATP (TAIZ & ZEIGER, 2013; MALAVOLTA et al, 1997), evidenciando um dos prováveis mecanismos mais específicos da gradual degradação destes agroecossistemas periodicamente queimados.

À semelhança dos demais nutrientes, os maiores acúmulos de N (Figura 12B) foram ocasionadas pelo T3 e T4 ($p < 0,05$). Por isso, cabe relatar-se que, se os resultados não denotam influência dos tratamentos sobre a concentração foliar de N, utilizada no cálculo da acumulação do nutriente (Equação 1), então, a explicação reside, principalmente, na maior quantidade de Blfo proporcionada por estes tratamentos (Figura 16B). Por sua vez, a reduzida quantidade de Blfo no T5 pode-se dever ao porte nitidamente menor das plantas, a despeito da brotação ocorrida cerca de 3 a 4 dias mais cedo que os demais tratamentos. Isso se refletiu em menor produtividade de Blfo e, conseqüentemente, menor acumulação de N na lâmina foliar do pasto queimado.

4.1.5. Micronutrientes no sistema Solo-*B. brizantha* Stapf. cv. Marandu

A média global de B no solo ($0,15 \text{ mg dm}^{-3}$) (Figura 14A) denota a fertilidade baixa a muito baixa de Souza & Lobato (2002), Raij et al. (1996) e Cantarutti et al. (1999). Este nível de disponibilidade refletiu-se numa absorção global média (Figura 14B) insuficiente segundo Souza & Lobato (2002). No entanto, não foram constatados

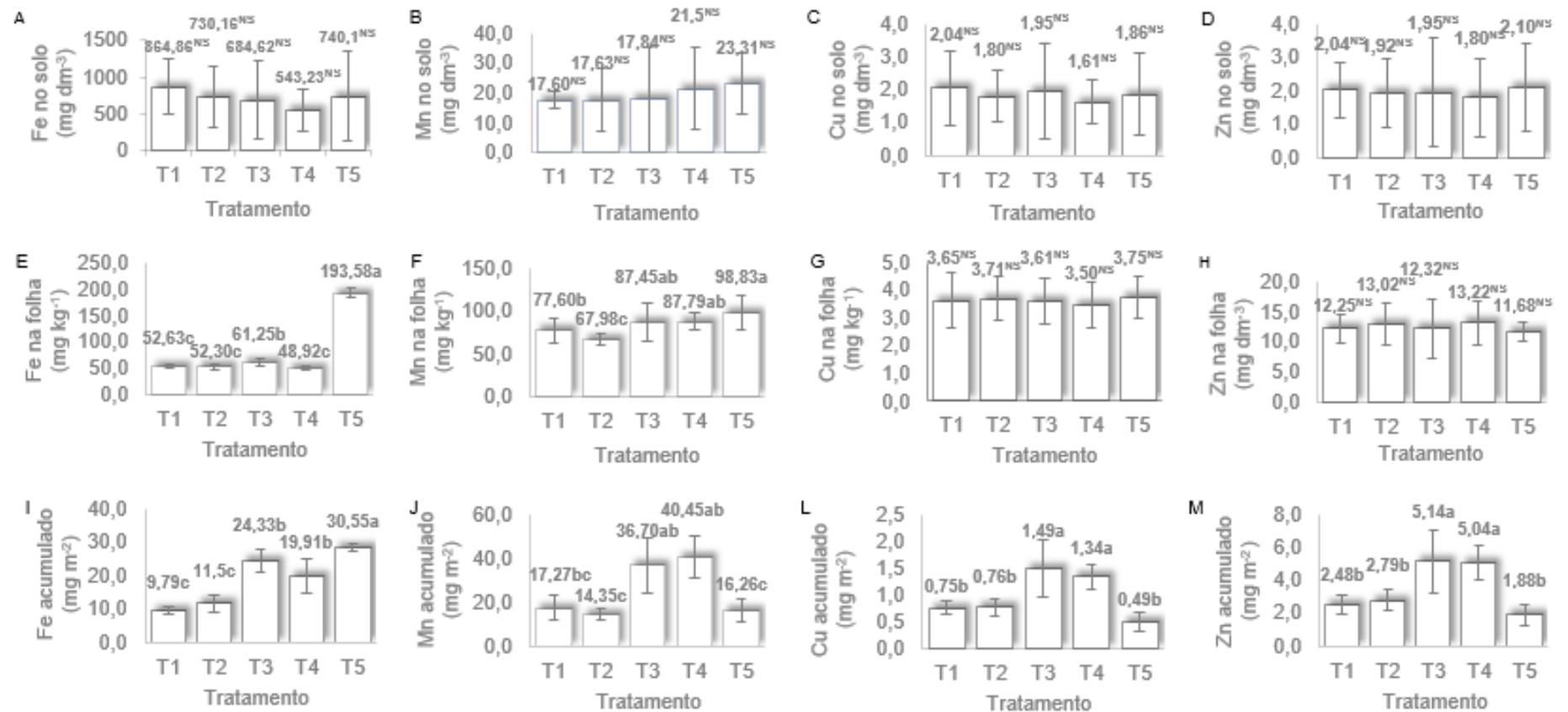
sintomas de deficiência de B aos 55 dias de experimentação de acordo com Malavolta et al. (1997). Em oposição a isso, o B foi mais acumulado no T3 e T4 ($p > 0,05$) (Figura 14C), o que pode dever-se à maior quantidade de B₁ produzida nestes tratamentos (Figura 16B).



Nota: A e B = NS (teste F não significativo); DMS (diferença mínima significativa do teste de Tukey, $p < 0,05$), sendo C = 0,625; Médias sobre a coluna vertical seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 14. Médias de boro no solo, concentração e acumulação na lâmina foliar de *B. brizantha* Stapf. cv. Marandu em função dos tratamentos.

As médias globais de Fe²⁺ (712,59 mg dm⁻³), Mn²⁺ (19,57 mg dm⁻³), Cu²⁺ (1,85 mg dm⁻³) e Zn²⁺ (1,96 mg dm⁻³) (Figuras 15A, 15B, 15C e 15D) estiveram acima do padrão dos solos férteis definidos por Bernardi et al. (2011) e Alvarez et al (1999), com destaque para o T5. No entanto, existe a hipótese de fitotoxicidade dada a elevada concentração foliar de Fe no T5, que absorveu 72% mais Fe em relação à média global de 53,77 mg kg⁻¹ do T1 a T4 (Figura 15E), considerada normal por Furlani (2004) e Werner et al. (1996). Desde o início do experimento as plantas do T5 apresentaram os sintomas de fitotoxicidade de Fe descritos por Malavolta et al. (1997). Por isso, é possível que o aumento da absorção e fitotoxicidade venha a comprometer a produtividade da *B. brizantha* (FURLANI, 2004; PAVAN & BINGHAM, 1981).



Nota: (A) e (B) = NS (teste F não significativo); DMS (diferença mínima significativa do teste de Tukey, $p < 0,05$), sendo $C = 0,276$; Médias sobre a coluna vertical seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 15. Teores médios de micronutrientes no sistema solo-*B. brizantha* Stapf cv. Marandu em função dos tratamentos.

Segundo Werner et al. (1996) e Furlani (2004), o Mn foliar mostrou-se suficiente em todos os tratamentos. Por isso, ocorreram padrões diferenciados nas acumulações de Fe e Mn entre si, sendo o Fe mais acumulado no T5 devido à influência conjunta da elevada concentração foliar (Equação 1) e da menor produtividade de Blfo verificada com este tratamento (Figura 16B). Ao contrário do Fe, a concentração de Mn na lâmina foliar foi adequada segundo Werner et al. (1996), levando ao característico padrão de maior acumulação de nutrientes dada à maior quantidade de Blfo de *B. brizantha* propiciada pelo T3 e T4 (Figura 16B).

A média global de Cu^{2+} e Zn^{2+} no solo (Figuras 15C e 15D) promoveram concentrações foliares médias globais, respectivamente, de $3,64 \text{ mg kg}^{-1}$ e $12,490 \text{ mg kg}^{-1}$, que estiveram levemente abaixo do nível de suficiência da espécie (WERNER et al., 1996). Apesar disso, ambos os nutrientes seguiram o padrão de acumulação determinado pela Blfo produzida em maior quantidade pelo T3 e T4.

De maneira geral, o que se obtém com a aplicação do T5 restringe-se somente a um efeito passageiro de melhora relativa dos atributos de acidez do solo e bases trocáveis. Menores concentrações e acumulações da maioria dos nutrientes somadas à excessiva disponibilidade e absorção de Fe e baixa disponibilidade relativa de N no solo, que pode ser contada dentre as mais prováveis causas específicas de degradação da *B. brizantha* submetidas à queimada, reforçam a dúvida sobre a sustentabilidade desta técnica para manejo destes agroecossistemas. Por vezes, mesmo o T1, constituído pela mera manutenção da biomassa mostrou-se mais sustentável que o T5. Assim, ao se aliar a fosfatagem com a preservação da biomassa na superfície, à semelhança dos sistemas conservacionistas de uso do solo (PEREIRA & BRAGA, 2014; MARAHATA et al., 2014; PAVAN, 1997), pode-se melhorar a reciclagem e reduzir a lixiviação de nutrientes, além de proteger o solo contra processos erosivos ao invés de destruir a biomassa superficial pela combustão, descobrindo o solo e desprotegendo-o. Tais observações evidenciam a desnecessidade das queimadas quando o objetivo é adequar a disponibilidade de nutrientes no solo e absorção pelas plantas em condições de campo similares a estas.

4.1.6. Análise do Comportamento Conjunto dos Atributos Químicos de Solo e Lâmina foliar, com Ênfase no fósforo

O pH, H+Al, SB e V% do solo apresentaram elevado grau de associação entre si (Tabela 7). Os aumentos de pH foram significativamente proporcionais à diminuição da H+Al e aos aumentos da SB e V% do solo. Este é o comportamento característico destes atributos verificado com as mais diferentes metodologias e condições experimentais (NOVAIS & MELLO, 2007; MALAVOLTA, 2006; RAIJ, 1991).

Tabela 7. Correlação linear de Pearson dos atributos de solo e lâmina foliar, com ênfase no fósforo.

Atributos	H+Al	SB	V%	P no solo	P na lâmina foliar	P acumulado
	----- Coeficiente de correlação (r) -----					
pH H ₂ O	-0,82***	0,68***	0,71***	-0,40 ^{NS}	-0,14 ^{NS}	-0,52***
H+Al		-0,83***	-0,81***	0,15 ^{NS}	-0,09 ^{NS}	0,33 ^{NS}
SB			0,64***	0,04 ^{NS}	0,36 ^{NS}	-0,11 ^{NS}
V%				-0,16 ^{NS}	0,22 ^{NS}	-0,43 ^{NS}
P	Macronutriente no solo					
	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻		
	----- Coeficiente de correlação (r) -----					
no solo		0,05 ^{NS}	0,50**	0,86***		
na lâmina foliar	0,65***	0,19 ^{NS}	0,17 ^{NS}	0,55**		
acumulado	0,77***	0,09 ^{NS}	-0,12 ^{NS}	0,75***		
P	Macronutriente na lâmina foliar					
	P	Mg		S		
	----- Coeficiente de correlação (r) -----					
no solo		0,45**		0,44 ^{NS}		
na lâmina foliar		0,17 ^{NS}		0,41 ^{NS}		
acumulado	0,48***	0,69***		0,74***		
P	Macronutriente acumulado na lâmina foliar					
	Ca	Mg	S	N	K	
	----- Coeficiente de correlação (r) -----					
no solo	0,58***	0,69***	0,69***	0,74***	0,72***	
na lâmina foliar	0,22 ^{NS}	0,32 ^{NS}	0,38 ^{NS}	0,36 ^{NS}	0,36 ^{NS}	
acumulado	0,93***	0,96***	0,98***	0,95***	0,94***	

***: valor significativo para p<0,01; **: valor significativo para p<0,05; NS: valor não significativo.

Por sua vez, o P disponível no solo esteve pouco associado ou independente dos atributos de acidez e do Ca²⁺ no solo e na lâmina foliar (Tabela 7). Isto denota que, sob estas condições experimentais, foi pouco pronunciado o comum efeito antagônico de diminuição da disponibilidade e absorção de ambos os nutrientes por precipitação em solos com elevados teores de Ca²⁺ (MARSCHNER, 2012; MALAVOLTA, 2006; NOVAIS & SMITH, 1999) ou pela supressão da absorção devida à inadequação das relações Ca/Mg/K no solo (MALAVOLTA, 2006; EPSTEIN & BLOOM, 2006).

Neste caso específico, muito provavelmente, os valores de pH levemente ácidos permitiram a adequada disponibilidade de P no solo, que se refletiu de forma positiva e proporcional à absorção e acumulação do nutriente pelo pasto. Diversos autores relataram respostas similares das pastagens e outras espécies cultivadas ao P (MALAVOLTA, 2006; NOVAIS & SMITH, 1999; MALAVOLTA et al., 1997).

O P também apresentou significativas correlações positivas com o Mg (Tabela 7). Estas associações denotam que mesmo em início de crescimento das plantas, a exemplo dos relatos Carvalho (2014) e Geelhoed et al. (1997a), ocorreu o comum efeito sinérgico entre os nutrientes, que é observável em diferentes espécies cultivadas (VICHATO et al., 2009; MALAVOLTA, 2006; SALEQUE et al., 2001), inclusive nas pastagens (LANGE, 2007; SANTOS et al., 2004; ALMEIDA, 1998). Também ocorreram correlações positivas e significativas entre o P e o S, denotando a proporcionalidade direta da disponibilidade no solo, absorção e acumulação de ambos nutrientes. Martins & Kaminsky (1997) observaram correlação similar entre estes nutrientes num agroecossistema de *Panicum maximum* em clima subtropical.

As altas correlações positivas e significativas do P com a acumulação de N e K (Tabela 7) evidenciam a estreita e sinérgica relação entre os nutrientes (SILVA & TREVIZAM, 2015; SOUSSANA & LEMAIRE, 2014; NOVAIS et al., 2007). Provavelmente, também estão denotando a relativa suficiência de N e K no solo e na lâmina foliar além do efeito conjunto destes nutrientes que elevou a produtividade de Blfo da *B. brizantha* aos 55 dias de crescimento.

Por conseguinte, torna-se adequada a aplicação conjunta de P, Mg e S a partir de uma só fonte aliada a doses agronômicas de N e K. Pois, nestas condições, são diminuídas as operações de aplicação dos fertilizantes com melhora da disponibilidade no solo, absorção e acumulação destes nutrientes com aumento da produtividade de biomassa de pastagem e redução dos custos de produção.

4.2 COMPONENTES DE PRODUTIVIDADE E CARBONO DA BIOMASSA

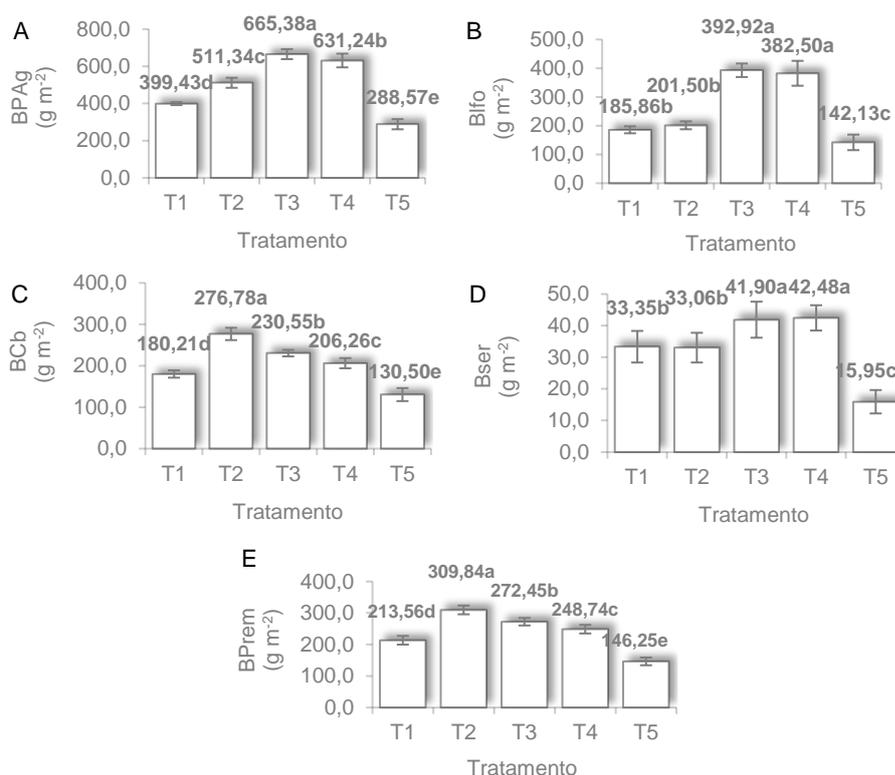
As variâncias das produtividades de biomassa da *B. brizantha* Stapf. cv. Marandu mostraram-se homogêneas pelo teste de Cochran ($p > 0,05$) e, por isso, os dados não passaram por transformações. Os tratamentos alteraram as produtividades de Blfo, de BCb, de Bser e de BPAg e BPreM no agroecossistema (teste F, $p < 0,05$) (Tabela 8).

Tabela 8. Resumo das análises de variância dos componentes de produtividade de biomassa do agroecossistema de *B. brizantha* em função dos tratamentos.

Fonte de Variação	GL	Componentes de produtividade				
		Blfo	BCb	Bser	BPAg	Brem
-----g m ⁻² -----						
Tratamento	4	360,69***	332,94***	202,23***	537,64***	372,47***
Bloco	3	0,12 ^{NS}	0,11 ^{NS}	6,44***	0,12	0,10 ^{NS}
Erro	12	153,817	35,958	2,271	185,095	41,459
CV (%)		4,75	2,93	4,52	2,73	14,51
C		0,513	0,340	0,324	0,385	0,225

GL: graus de liberdade; C; V (%): coeficiente de variação (%); C: Estatística do teste de Cochran para $p > 0,05$; CV: coeficiente de variação (%); ***: valor significativo para $p < 0,01$; **: valor significativo para $p < 0,05$; *: valor significativo para $p < 0,10$; NS: não significativo ($p < 0,05$); Blfo: biomassa de lâmina foliar; BCb: biomassa de colmo com bainha; Bser: biomassa de serapilheira.

As maiores produtividades de BPAg (Figura 16A), Blfo (Figura 16B) e Bser (Figura 16D) foram ocasionadas pelo T3 e T4. A média de BPAg ocasionada por estes tratamentos foi 55,5% maior em relação ao T5 ($p < 0,05$), levando à uma significativa diminuição da perda de CO₂ para atmosfera maior que 5,90 Mg ha⁻¹ já nos primeiros de 55 dias de crescimento de plantas (Tabela 9). Mesmo no T1, no qual não houve aplicação de FA, foi verificada quantidade significativamente maior de biomassa de todas as componentes. Um aspecto importante da adoção da fosfatagem na ausência de queimada é que a Blfo, apesar de consumida, não é totalmente transformada em produto animal, pois, parte significativa volta ao solo na forma de fezes e urina e, juntamente, a maior parte do C e nutrientes ingeridos (BALBINOT Jr et al., 2009; HAYNES & WILLIAMS, 1993; SPAIN & SALINAS, 1985), que podem contribuir para aumentar a produtividade, o acúmulo de C e a sustentabilidade destes agroecossistemas (BRAZ et al., 2002).



Nota: DMS (diferença mínima significativa do teste de Tukey, $p < 0,05$), sendo (A) = 30,679; (B) = 27,967; (C) = 13,522; (D) = 3,398; (E) = 14,519; Médias sobre a coluna vertical seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 16. Produtividade de biomassa parcial atual (BPAg), biomassa de lâmina foliar (Blfo), biomassa de colmo com bainha (BCb), biomassa de serapilheira (Bser) e biomassa parcial remanescente (BPreM) de *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Marandu em função do tratamento.

A BPAg verificada com o T3 e T4 esteve constituída por 33,68% de BCb e 59,80% de Blfo. Isso denota que, nestes tratamentos, houve priorização da planta na produção de lâmina foliar em detrimento do colmo. Isso evitou cerca de 45,5% da perda de biomassa e de C total do agroecossistema. Dessa forma, torna-se evidente que, comparativamente à fosfatagem, quando o pecuarista utiliza a queimada, simplesmente retira do agroecossistema e deixa de ofertar 2,46 Mg ha⁻¹ de Blfo para consumo animal já num primeiro pastejo, aos 55 dias de crescimento o pasto.

Tabela 9. Perda de dióxido de carbono (CO₂) evitada com a fosfatagem (T2, T3 e T4) comparativamente à queimada (T5) em agroecossistema de *B. brizantha* Stapf. cv. Marandu.

CPB ¹	Biomassa	Carbono da biomassa	Dióxido de carbono na biomassa	Perda de CO ₂ ¹² evitada (Mg ha ⁻¹)
	(Mg ha ⁻¹)	(Mg ha ⁻¹)	CO ₂ (Mg ha ⁻¹)	
BPAg ² (MT3/T4)	6,48	2,92	10,72	5,95
BPAg ³ (MT5)	2,88	1,29	4,75	
Blfo ⁴ (MT3/T4)	3,88	1,75	6,42	4,06
Blfo ⁵ (MT5)	1,42	0,64	2,35	
Bser ⁶ (MT3/T4)	0,42	0,19	0,70	0,43
Bser ⁷ (MT5)	0,16	0,07	0,26	
BCb ⁸ (MT2/T3/T4)	2,38	1,07	3,93	1,78
BCb ⁹ (MT5)	1,30	0,58	2,14	
BPrem ¹⁰ (MT2/T3/T4)	2,77	1,25	4,59	2,16
BPrem ¹¹ (MT5)	1,46	0,66	2,42	

¹: Componente de produtividade de biomassa; ²: média de BPAg de T3 e T4 (Mg ha⁻¹); ³: média de BPAg de T5 (Mg ha⁻¹); ⁴: média de Blfo de T3 e T4 (Mg ha⁻¹); ⁵: média de Blfo de T5 (Mg ha⁻¹); ⁶: média de Bser de T3 e T4 (Mg ha⁻¹); ⁷: média de Bser de T5 (Mg ha⁻¹); ⁸: média de BCb de T2, T3 e T4 (Mg ha⁻¹); ⁹: média de BCb de T5 (Mg ha⁻¹); ¹⁰: média de BPrem de T2, T3 e T4 (Mg ha⁻¹); ¹¹: média de BPrem de T5 (Mg ha⁻¹); ¹²: Perda de CO₂ evitada, calculada pela diferença entre o CO₂ contido na biomassa produzida pelos melhores tratamentos e T5 (queimada).

A Bser apresentou o mesmo perfil produtivo da Blfo (Figura 16D), sendo as maiores médias verificadas no T3 e T4. Verificações como esta, a exemplo de Heringer et al. (2002a), induzem à ideia de que maiores produtividades de Blfo podem ocasionar maior retorno de material morto e, conseqüentemente, de C à superfície do solo em relação à queimada, mesmo neste curto período de experimentação.

A Bser média do T3 e T4 esteve 61,9% maior que no T5, o que equivale a 0,43 Mg ha⁻¹ de CO₂ retido no agroecossistema somente pela manutenção da biomassa superficial acrescida de pequena quantidade de folhas mortas secas e totalmente amareladas já acamadas à superfície do solo no fim do período experimental. Essa biomassa superficial melhora a reciclagem e reduz a lixiviação de nutrientes, aumenta a capacidade de retenção de água no solo, protegendo-o contra erosão hídrica (MARAHATA et al., 2014) e contribuindo, localmente, com a mitigação de efeitos mais globais, como as mudanças climáticas.

O T2 foi responsável pelas maiores produtividades de BCb (Figura 16C) e BPrem (Figura 16E) seguido pelo T3 e T4. Este T2 apresentou padrão produtivo

diferenciado em relação aos demais tratamentos, verificando-se 45,38% mais BCb quando comparado ao T5. No entanto, cabe salientar que, a despeito do grande número de colmos, as plantas apresentaram folhas com limbo de tamanho reduzido e, por isso, sugere-se que, neste tratamento, houve priorização do lançamento de grande número de colmos com lâminas foliares menores. O que se tem verificado é uma maior produção de lâminas foliares em detrimento de colmo de braquiária quando doses maiores de N, até um limite de 300 kg ha⁻¹, são utilizadas independentemente do nível de P aplicado (MAGALHÃES et al., 2007). Neste trabalho, no entanto, a dose de N pode ter sido baixa para o aproveitamento do pouco P disponibilizado pelo T2. Conjectura-se, então, a ocorrência de desequilíbrio no balanço entre estes e outros nutrientes com baixa disponibilidade no solo, como o B e, como consequência disso, houve maior produção de colmo em detrimento da lâmina foliar.

A maior quantidade de BCb produzida pelo T2 em relação ao T5 refletiu-se no total de BPre, contribuindo com significativa diminuição da perda de CO₂ (Tabela 9) por ter sido, efetivamente, mantido no agroecossistema ao invés de liberado na atmosfera. Por outro lado, o T3 e T4 ocasionaram uma média de 2,61 Mg ha⁻¹ de BPre, que se mostrou numericamente próxima do que se verificou no T2, sendo possível uma reflexão embasada na média de BCb produzida pelos T2, T3 e T4. Isso induz, conseqüentemente, à sugestão de que quaisquer dos níveis de fosfatagem aliada à fertilização básica com N e K mantém, de forma semelhante, mais C fixado no pasto em relação ao T5.

Esta BPre média dos tratamentos com fosfatagem representou cerca de 42,75% do total de biomassa produzida no agroecossistema aos 55 dias de crescimento do pasto. Com isso, evitou-se a perda média de 36,3% do total de CO₂ por permanecer retido na BPAg. No entanto, é cabível salientar que até mesmo o T1 propiciou 31,5% mais BPre em relação ao T5. Ou seja, mesmo a mera supressão de queimada sem a aplicação do FA, fixou e reteve mais C na BPre que a queima do pasto. Diversos autores verificaram que a supressão de queimada (SCHNABEL et al., 2001) e o melhoramento das pastagens pela fertilização fosfatada e níveis agronômicos de N e K aumentaram sua produtividade de biomassa (DIAS et al., 2015; DIAS et al., 2012; IEIRI et al., 2010; LIMA et al., 2007; NOVAIS & MELLO, 2007; OGLE et al., 2004; REEDER & SCHUMAN 2001; RICE & OWENSBY, 2001; HERINGER & JACKES,

2002c; SCHUMAN et al 1999; NYBORG et al., 1999) que, em função disso, têm sido consideradas sumidouros de C da atmosfera (CARVALHO et al., 2010; MAIA et al., 2010; MAIA et al., 2009; MARCHÃO et al., 2009; SOUSSANA et al., 2009; OGLE et al., 2004; SCHUMAN et al., 2002; CONANT et al., 2001).

Estes resultados concretizaram-se, especificamente:

- i) pelo adequado suprimento e absorção de P, Ca^{2+} , Mg^{2+} e S bem como pelo efeito conjunto, entre si, e com o N e K sobre a produtividade do pasto (Tabela 9), tal como verificado por Silva & Trevizam (2015);
- ii) pela adequada disponibilidade de Fe e Mn às plantas;
- iii) pela possível maximização de uso do Cu absorvido pelas plantas, dada a mobilidade do nutriente no floema por aminoácidos solúveis (MARSCHNER, 2012);
- iv) pelo provável uso maximizado do Zn absorvido pelas plantas que, possivelmente, foi movimentado em pequenas quantidades das folhas mais velhas para as mais novas (DECHEN & NACHTIGAL, 2007);
- v) pela provável maximização do uso do B absorvido pelas plantas (MALAVOLTA et al., 2006), mesmo a partir do baixo nível de disponibilidade no solo (ALVAREZ et al., 1999). É possível que a maior absorção inicial, característica do nutriente (DECHEN & NACHTIGAL, 2007), além da formação de complexos ácido bórico-poliois ou diois que ocasiona aumento da mobilização no floema (BROWN & HU, 1996), tenham provido B suficiente às plantas da *B. brizantha* em crescimento inicial. De toda forma, sugere-se a necessidade de fertilização do pasto com B, Cu e Zn em condições de campo semelhantes a estas.

Por outro lado, o T5 se refletiu em baixas produtividades do pasto, inclusive em relação ao T1, que não recebeu FA. Muito provavelmente, o fato se deve à lixiviação e retirada de cátions básicos e SO_4^{2-} para fora da camada de 0,0-0,05 m do solo submetido à queimada comparativamente aos demais tratamentos aliados a níveis de N e K (Tabela 5). Por isso, a inferioridade das produtividades do T5 pode-se dever à não utilização metabólica do N absorvido, dado o provável desequilíbrio em relação a outros nutrientes (MALAVOLTA & MORAES, 2007) e K (MARSCHNER, 2012), que aumentaram as concentrações de NO_3^- na lâmina foliar do pasto.

Também é muito possível que as altas temperaturas ocasionadas pelo fogo tenham causado a morte e reduzido o número de gemas basais e axilares no T5. Como

consequência disso, tem-se a redução do potencial de manutenção da população de plantas semelhante aos demais tratamentos com redução das produtividades, que se refletiram no total de C fixado na biomassa da pasto. Segundo Heringer & Jackes (2002b), a queimada é menos produtiva que quaisquer formas de manejo com manutenção da biomassa na superfície do solo, fertilizado ou não. Isso reforça a ideia de que a supressão de tal prática, com ou sem fertilização, são alternativas de manejo mais sustentáveis para a região de Humaitá e sul do Amazonas.

Ao contrário da queimada, a fosfatagem aumenta a biomassa que cobre o solo e, à semelhança dos sistemas conservacionistas, pode aumentar a disponibilidade de nutrientes, produtividade e, ao invés de perda, promove aprisionamento de C na biomassa e no solo dos agroecossistemas de pasto (MARAHTA et al., 2014). Por isso, a queima da pastagem não se mostrou recomendável especificamente para o manejo da fertilidade química deste Cambissolo cultivado com *B. brizantha* (cv. Marandu), especialmente porque já mostra certo grau de degradação. Assim sendo, é evidente que o uso da fosfatagem a partir deste FA, ou, mesmo a simples supressão de queimada e fertilização com N e K pode aumentar a sustentabilidade dos agroecossistemas de *B. brizantha* pela melhoria da fertilidade e da proteção do solo e pela maximização da reciclagem de nutrientes (MARAHTA et al., 2014), que são serviços ambientais triviais prestados pela biomassa que remanesce na superfície ao fim do período de pastejo.

4.2.1 Análise do Comportamento Conjunto das Componentes de Produtividade de Biomassa e o Fósforo

A Blfo produzida mostrou-se proporcional à Bser (Tabela 10) que, por sua vez, esteve significativamente associada à Bser. Ou seja, uma maior quantidade de lâminas foliares produzida foi verificada concomitantemente a uma maior produção de serapilheira que também aumentou, proporcionalmente à BPreM do agroecossistema. Isto pode estar relacionado à pequena quantidade de folhas secas e totalmente amareladas e acamadas sobre o solo, que foram consideradas no cálculo da Bser. As mesmas afirmações podem ser feitas em relação ao C fixado nestas componentes, dada a metodologia de cálculo das estimativas (MÜLLER et al., 2009). Estes resultados

concordam com o relato de Heringer et al. (2002a) no qual maiores produtividades mostraram tendência de maior retorno de biomassa morta e, conseqüentemente, de C à superfície do solo.

Tabela 10. Correlação linear de Pearson dos componentes de produtividade de biomassa (CPB), entre si, e com o fósforo.

CPB	CPB			Fósforo	
	BCb	Bser	BPrem	no solo	na lâmina foliar
	Coeficiente de correlação (r)				
Blfo	0,38 ^{NS}	0,83 ^{***}	0,48 ^{**}	0,73 ^{***}	0,35 ^{NS}
BCb				0,08 ^{NS}	-0,17 ^{NS}
Bser				0,56 ^{***}	-0,05 ^{NS}
BPAg				0,61 ^{***}	0,19 ^{NS}
BPrem				0,10 ^{NS}	-0,16 ^{NS}

***: valor significativo para $p < 0,01$; **: valor significativo para $p < 0,05$; NS: valor não significativo.

A Blfo, Bser e BPAg e, conseqüentemente, o C fixado nestas componentes, também se mostraram significativamente proporcionais à disponibilidade de P no solo e independentes da concentração foliar do nutriente (Tabela 11). Tais verificações reforçam a ideia de que a adequada disponibilidade de P no solo aumenta concomitantemente à biomassa produzida pelas braquiárias, excepcionalmente se o N e K são supridos ao solo. Dessa forma, a desproporcionalidade entre o P foliar e as produtividades leva à sugestão de que a relação sinérgica do P com Mg, S, N e K foram os principais responsáveis pelo aumento das produtividades de biomassa (SILVA & TREVIZAM, 2015) e do C fixado pela *B. brizantha* em início de crescimento.

4.3 CARBONO ORGÂNICO TOTAL E ESTOQUE PARCIAL DO ELEMENTO NO SOLO

O teor de COt e o estoque de C orgânico da camada superficial do solo (EstC solo) não foram alterados pelos tratamentos (teste F, $p > 0,05$) (Tabela 12). Ao contrário disso, promoveram alterações muito significativas nos estoques parcial atual (EstC PAg) e parcial atual remanescente de C (EstC Prem) do agroecossistema (teste F, $p < 0,05$).

Tabela 11. Resumo das análises de variância (teste F) do carbono orgânico total (COt) e estoques de carbono no agroecossistema de *B. brizantha* Stapf. cv. Marandu degradada.

Fonte de variação	Carbono orgânico total no solo e estoques parciais atual e remanescente				
	GL	COt	EstC solo	EstC PAg	EstC Prem
		g kg ⁻¹	-----Mg ha ⁻¹ -----		
Tratamento	4	0,27 ^{NS}	0,27 ^{NS}	544,2 ^{***}	347,0 ^{***}
Bloco	3	0,13 ^{NS}	0,13 ^{NS}	0,16 ^{NS}	0,13 ^{NS}
Erro	12	7,911	3,398	0,004	0,001
CV(%)		22,69	22,71	0,59	0,33
C		0,314	0,314	0,385	0,225

GL: graus de liberdade; CV (%): coeficiente de variação (%); C: Estatística do teste de Cochran (p<0,05); ***: valor significativo para p<0,01; NS: valor não significativo.

4.3.1 Teor e Estoque Parcial de Carbono Orgânico na Camada Superficial do Solo

A média global de COt no solo foi 12,4 g m⁻² (Figura 17A) e enquadrou-se na classe de fertilidade média de Alvarez et al. (1999). O estoque global médio de C na camada de 0,0-0,05 m do solo (EstC solo) foi 8,22 Mg ha⁻¹. No entanto, o T5 não se verificou alteração do COt nem o EstC do solo (Figura 17B), mesmo com a grande quantidade de cinzas verificada à superfície do solo, o que pode se dever à perda de grande parte do C da biomassa queimada para atmosfera. A agregação de C ao solo do T5 pode ter ocorrido tal como relataram Pereira & Perez (1985). No entanto, as altíssimas temperaturas verificáveis abaixo das chamas deve ter causado perda de C diretamente do solo (TEREFE et al., 2008) e equilibrado ganhos e perdas. Por isso, a semelhança numérica em relação aos tratamentos com fosfatagem. E, se do T1 ao T4 não houve agregação de C ao solo é porque, provavelmente, o elemento deve estar fixado na biomassa acima do solo, o que pode-se dever ao fato de que o tempo necessário para o efetivo sequestro do C da biomassa no solo é superior ao período experimental deste trabalho (TRUMBORE & CAMARGO, 2009). Ao contrário disso, contribuições do C oriundo das queimadas para o COt têm oscilado de 10-35% (SKJEMSTADT et al., 2002) a 45% (SCHMIDT et al., 1999) em agroecossistemas estabelecidos em diferentes classes de solo submetidas às queimadas por longos períodos.

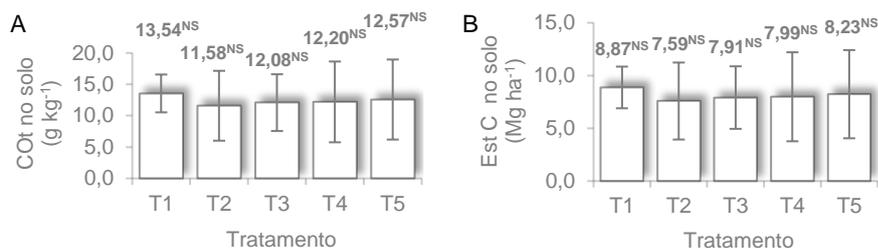
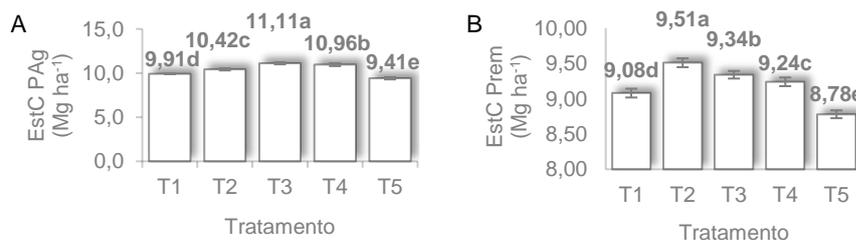


Figura 17. Teor e estoque de carbono orgânico na camada de 0,0-0,05 m do perfil do solo em função do tratamento.

4.3.2 Estoques Parcial Atual e Parcial Atual Remanescente de Carbono no Agroecossistema

De maneira geral, a fosfatagem propiciou sempre maiores estoques parciais atuais de C (EstC PAg), com destaque para o T3 e T4 (Figura 18A) cuja média mostrou-se 14,68% maior que no T5. Cerca de 72,07% deste C ocorreu no solo e 27,93% na biomassa do pasto. Estes resultados concordam com as verificações de outros autores que observaram estoques de C no solo sempre acima de 70% do C total de diferentes agroecossistemas de pastagens naturais ou cultivadas, em consórcio com outras espécies ou não (LIU et al., 2016; MOXLEY et al., 2014a; AMÉSQUITA et al., 2010; AMÉSQUITA et al., 2006; TEIXEIRA et al., 1999).



Nota: DMS (diferença mínima significativa do teste de Tukey ($p < 0,05$), sendo (A) = 0,142; (B) = 0,071; Médias sobre a coluna vertical seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 18. Estoques parcial atual e parcial atual remanescente de carbono no agroecossistema.

A diferença no EstC PAg verificados no T3 e T4 em relação ao T5 corresponde exatamente ao C retido na BPAg do agroecossistema, ou seja, 5,95 Mg ha⁻¹ de CO₂ fixados na biomassa (Tabela 9) até os 55 dias de crescimento do pasto. Estes resultados

se devem à maior quantidade de C fixado na BIfo em função destes tratamentos (Figura 16 B), que foi utilizada no cálculo deste EstC PAg.

O maior EstC Prem foi verificado no T2, observando-se a tendência de declínio deste para o T4, e deste para o T5 (Figura 18B). Por isso, é cabível salientar que a pequena diferença entre os tratamentos com fosfatagem sem queima do pasto justifica o uso do EstC PAg médio de T2, T3 e T4 ($9,36 \text{ Mg ha}^{-1}$) para comparação com T5 em termos de sustentabilidade. Esta média mostrou-se próxima de $0,58 \text{ Mg ha}^{-1}$ maior que o EstC PAg no T5, o que representa uma retirada de $2,13 \text{ Mg ha}^{-1}$ de CO_2 da atmosfera que efetivamente remanesce na superfície do solo, influenciando o comportamento do EstC BPre e, conseqüentemente, do EstC Prem.

Numa reflexão geral, a média de C remanescente verificada de T2 a T4 apresentou mais de 72% de C do solo e cerca de 28,7% de C da biomassa, que constitui o aumento real no estoque parcial do elemento no agroecossistema. Isso reforça, novamente, a ideia de que a inserção de P e outros nutrientes no solo com quaisquer dos níveis de FA aliados à manutenção da biomassa superficial e à fertilização nitrogenada e potássica podem aumentar a sustentabilidade na entrada e saída de biomassa e, conseqüentemente, de C destas pastagens.

Saliente-se, adicionalmente, que a queimada pode ser ainda menos eficiente na manutenção da biomassa e do C nestes agroecossistemas. Tal afirmação é lógica e visualmente constatada pela drástica redução da biomassa e C que permanece acima do solo em função da perda de CO_2 para atmosfera ocasionada pela queima. Assim sendo, é possível afirmar-se que só foram verificados aumentos reais no EstC PAg aumentando-se a disponibilidade de lâmina foliar para alimentação animal e, no EstC Prem, quando a queimada foi suprimida aos 55 dias de experimentação. Isto se aplica, especialmente, aos T3 e T4, tanto pela maior quantidade de BIfo produzida quanto pela BPre cuja presença protege o solo, maximiza a reciclagem de nutrientes quanto pela diminuição das emissões de C para atmosfera, tornando estes agroecossistemas mais conservacionistas (MARAHAATA et al., 2014) e contribuindo local e globalmente para a mitigação dos problemas advindos das queimadas.

5. CONCLUSÃO

Sob estas condições experimentais a fosfatagem com fosfato de rocha parcialmente acidulada em substituição à queimada de *B. brizantha* cv. Marandu degradada:

- i) melhorou os atributos de acidez do solo por aumentar seu pH H₂O, a soma de bases, a saturação de bases e reduziu a acidez potencial;
- ii) aumentou a disponibilidade de fósforo, enxofre e magnésio no solo;
- iii) aumentou as produtividades de biomassa parcial atual e biomassa parcial atual remanescente bem como o carbono nelas fixado;
- iv) aumentou os estoques de carbono parcial atual e parcial atual remanescente do agroecossistema, que se refletiram em significativa redução de perda do elemento na forma de CO₂ para atmosfera já num período inicial de crescimento de plantas.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Estudos posteriores devem ser conduzidos sob condições experimentais semelhantes a fim de se investigar os efeitos da substituição da queimada pela fosfatagem sobre:

- i) a disponibilidade e a eficiência das plantas no uso de fósforo e outros macro e micronutrientes durante todo o ciclo completo de crescimento da *B. brizantha* Stapf. cv. Marandu;
- ii) a dinâmica da produtividade de biomassa e seus estoques de carbono em agroecossistemas de *B. brizantha* Stapf. cv. Marandu em estágio semelhante de degradação;
- iii) a dinâmica dos estoques totais de carbono de agroecossistema de *B. brizantha* Stapf. cv. Marandu, que incluem o estoque do elemento nas camadas mais profundas do perfil do solo, e;
- iv) agroecossistemas constituídos por outros cultivares do gênero *Brachiaria spp* e até mesmo outras espécies da mesma família botânica e outras espécies forrageiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFIF, E.; BARRÓN, V.; TORRENT, J. Organic matter delays but does not prevent phosphate sorption by Cerrado soils from Brazil. **Soil Science**, v. 159, n. 3, p. 207-211, 1995.

ALEXIS M.A.; RUMPEL C.; KNICKER H.; LEIFELD J.; RASSE D.; PÉCHOT N.; BARDOUX G.; MARIOTTI A. Thermal alteration of organic matter during shrubland fire: a field study. **Organic Geochemistry**, v. 41, p. 690-697, 2010.

ALMEIDA, J.C.R. de. **Combinação de doses de fósforo e magnésio na produção e nutrição de duas braquiárias**. 1998. 81f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1998.

ALMENDROS, G.; GONZALEZ-VILA, F.J.; MARTIN, F. Fire-induced transformation of soil organic matter form on oak forest: an experimental approach to the effects of fire on humic substances. **Soil Science**, Baltimore, v. 149, p. 158-168, 1990.

ALMUDI, T; PINHEIRO, J.O.C. **Dados estatísticos da produção agropecuária e florestal do Estado do Amazonas: ano 2013**. Embrapa, Brasília, DF, 2015. 103 p.

ALVAREZ V.V.H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. *In*: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.V.H. *In*: **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, 5ª aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 25-32.

ALVAREZ, R.; DIAZ, R.A.; BARBERO, N.; SANTANATOGILA, O.J.; BLOTTA, I. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage system.; **Soil & Tillage Research**, v. 33, p. 17-28, 1995.

AMAZÔNIAREAL. Estiagem severa e queimadas atingem o centro-sul da Amazônia. **Disponível em**: <http://amazoniareal.com.br>. **Acesso em**: 13/08/2016.

AMÉZQUITA, M.C.; MURGUEITIO, E.; IBRAHIM, M.; RAMÍREZ, B. Carbon sequestration in pasture and silvopastoral systems compared with native forests in ecosystems of tropical America. **Grassland Carbon Sequestration: Management, Policy and Economics**, v. 11, 2010.

AMÉZQUITA, M.C.; VAN PUTTEN, B.; IBRAHIM, M.; RAMÍREZ, B.L.; GIRALDO, H.; GÓMEZ, M.E. Recovery of Degraded Pasture Areas and C-sequestration in Ecosystems of Tropical America. **Proceedings of the 5th WSEAS International Conference on Environment, Ecosystems and Development**, Venice, Italy, November 20-22, 2006.

ANDERSSON, M.; MICHELSEN, A.; JENSEN, M.; KJOLLER, A. Tropical savannah woodland: effects of experimental fire on soil microorganisms and soil emissions of carbon dioxide. **Soil Biology and Biochemistry**, v.36, p.849-858, 2004.

ANDRADE, C.M.S. de; WADT, P.G.S.; ZANINETTI, R.A.; VALENTIM, J.F. **Recomendação de calagem e adubação para pastagens no Acre**. Embrapa Acre (Folhetos), 2014.

ANETOR, M.O.; AKINRINDE, E. A. Lime effectiveness of some fertilizers in a tropical acid alfisol. **Journal of Central European Agriculture**, v. 8, n. 1, p. 17-24, 2007.

ANGASSA, A.; SHELEME, B.; OBA, G.; TREYDTE, A. C.; LINSTÄDTER, A.; SAUERBORN, J. Savanna land use and its effect on soil characteristics in southern Ethiopia. **Journal of Arid Environments**, v. 81, p. 67-76, 2012.

ARAÚJO, E.A.; LANI, J.L.; AMARAL, E.F.; GUERRA, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo distrófico na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 307-315, 2004.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; SANGOI, L. Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter to predict nitrogen fertilization in maize. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 1379-1387, 2004.

ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; MARTINS, S.C.; GROppo, J.D.; SALGADO, P.R.; EVANGELISTA, B.; VASCONCELLOS, E.; SANO, E.E.; PAVÃO, E.; LUNA, R.; CAMARGO, P.B.; MARTINELLI, L.A. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. **Biogeosciences**, v. 10, p. 6141-6160, 2013.

BALBINOT JUNIOR, A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v. 39, p. 1925-1933, 2009.

- BARBOSA, R.I.; FEARNSIDE, P.M. Erosão do solo na Amazônia: estudo de caso na região do Apiaú, Roraima, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 30, p. 601-613, 2000.
- BARCELOS, A.F.; LIMA, J.A.; PEREIRA, J.P.; GUIMARÃES, P.T.G.; EVANGELISTA, A.R.; GONÇALVES, C.C.M. **Adubação de capins do gênero *Brachiaria***. Belo Horizonte: EPAMIG, 2011. 84p.
- BARCELOS, A.F.; LIMA, J.A.; PEREIRA, J.P.; GUIMARÃES, P.T.G.; EVANGELISTA, A.R.; GONÇALVES, C.C.M. **Adubação de capins do gênero *Brachiaria***; Belo Horizonte: EPAMIG, 2011. 84p.
- BARKER, T.; BASHMAKOV, I.; BERNSTEIN, L.; BOGNER, J. E.; BOSCH, P.R.; DAVE, R. *et al.* (Eds.), **Climate Change 2007: Mitigation**. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.
- BASAK, B.B.; BISWAS, D.R. Potentiality of Indian rock phosphate as liming material in acid soil. **Geoderma**, v. 263, p. 104-109, 2016.
- BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and tillage research**, v. 86, n. 2, p. 237-245, 2006.
- BELARMINO, M.C.J.; PINTO, J.C.; ROCHA, G.P. et al. Altura de perfilho e rendimento de matéria seca de capim Tanzânia em função de diferentes doses de superfosfato simples e sulfato de amônio. **Ciência Agrotecnologia**, v. 27, p. 879-885, 2003.
- BELTRAN, R.R., SILVEIRA, R.I.; PASSOS, M.J. Disponibilidade de fósforo para plantas de arroz avaliada por extratores químicos. **Scientia Agricola**, v. 55 n. 2, Piracicaba, 1998.
- BERNARDI, A.C.C.; OLIVEIRA, P.P.; PRIMAVESI, O. Soil Fertility of Tropical Intensively Managed Forage System for Grazing Cattle in Brazil. *In: Soil fertility improvement and integrated nutrient management: a global perspective*. Joann K. Whalen (Ed.). Rijeka, Croatia, 2011.

BERNARDI, A.C.C.; OLIVEIRA, P.P.; PRIMAVESI, O. Soil Fertility of Tropical Intensively Managed Forage System for Grazing Cattle in Brazil. *In: Soil fertility improvement and integrated nutrient management: a global perspective*, 2011. 318 p.

BLACKMER, M.; SCHEPERS, J.S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.25, p.1791-1800, 1994.

BOINA, A. **Quantificação de estoques de biomassa e de carbono em floresta estacional semidecidual, Vale do Rio Doce, Minas Gerais** (Tese de doutorado). Viçosa: Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, 2008.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. Nyle C. Brady, Tradução técnica: Igo Fernando Lepsch, 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BRASIL - Instrução normativa do mapa nº 27, de 05 de junho de 2006; Diário Oficial da União de 09/06/2006, **República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2006.

BRASIL - Instrução normativa do mapa nº 28, de 12 de junho de 2007; Diário Oficial da União de 14/06/2007, **República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2007.

BRAZ, A.J.B.P.; SILVEIRA, P.M.; KLIEMANN, H.J.; ZIMMERMANN, F.J.P. Acumulação de nutrientes em folhas de milho e dos capins braquiária e mombaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34, p. 83-87, 2004.

BRAZ, S.P.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; CANTARUTTI, R. B.; REGAZZI, A.J.; MARTINS, C.E.; FONSECA, D.M. Disponibilização dos Nutrientes das Fezes de Bovinos em Pastejo para a Forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.4, p.1614-1623, 2002.

BROWN, P.H.; HU, H. Phloem mobility of boron is species dependent: Evidence for phloem mobility in sorbitolrich species. **Annals of Botanic**, v. 77: p. 497-505, 1996.

CAMPOS, M.C.C.; RIBEIRO, M.R.; SOUZA JUNIOR, V.S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; ALMEIDA, M.C. Toposequência de solos na transição Campos Naturais-Floresta na região de Humaitá, Amazonas. **Acta amazônica**, v. 42, n. 3, p. 387-398, 2012.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. de; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da Fertilidade do Solo e Recomendação de Fertilizantes. *In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ V., V.H., BARROS, N.F., FONTES, R.L.F.,*

CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do Solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 769-872.

CARDOSO, M.; NOBRE, C.; LAPOLA, D.; OYAMA, M.; SAMPAIO, G. Long-term potential for fires in estimates of the occurrence of savannas in the tropics. **Global Ecology and Biogeography**, v. 17, p. 222–235, 2008.

CARVALHO, B.G. **Interação entre fósforo, silício e enxofre em um Latossolo e biodisponibilização de fósforo de fontes de baixa solubilidade por processos de compostagem.** (Dissertação de Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), Campus Rio Paranaíba, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014. 57 p.

CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; MELLO, C.R.D.; CERRI, C. E.P. Potential of soil carbon sequestration in different biomes of Brazil.; **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 277-290, 2010.

CAYLEY, J.W.D.; BIRD, P.R. **Techniques for measuring pastures.** Hamilton, Victoria,, Australia: Pastoral and Veterinary Institute, 1996. 62 p.

CERTINI, G. Effects of fire on properties of forest soils: a review. **Oecologia**, v. 143, p.1-10, 2005.

CHEN, X.; HUTLEY, L.B.; EAMUS, D. Carbon balance of a tropical savanna of northern Australia. **Oecologia**, v. 137, n. 3, p. 405-416, 2003.

CHIEN, S.H.; HAMMOND, L.L.; Agronomic evaluation of partially acidulated phosphate rocks in the tropics: IFDC experience, IFDC-P-7. **International Fertilizer Development Center**, Muscle Shoals, Alabama, 1988.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J.A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolos Bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 317-326, 2004.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioural sciences.** Hillsdale, N.J.; Erlbaum, 1988.

COMTE, I.; DAVIDSON, R.; LUCOTTE, M.; DE CARVALHO, C. J. R.; DE ASSIS OLIVEIRA, F.; DA SILVA, B. P.; ROUSSEAU, G. X. Physicochemical properties of soils in the Brazilian Amazon following fire-free land preparation and slash-and-burn practices. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 156, p. 108-115, 2012.

- CONANT, R.T. Challenges and opportunities for carbon sequestration in grassland systems. A technical report. **Integrated Crop Management**, v. 9, p. 1-51, 2010.
- CONANT, R.T.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E.T. Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. **Ecological Applications**, v. 11, p. 343-355, 2001.
- CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, n. 5, p. 777-788, 2005.
- CORRÊA, L.A.; HAAG, H. P. Níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de gramíneas forrageiras em latossolo vermelho-amarelo álico I: ensaio em casa de vegetação. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 50, n.1, p. 99-108, 1993.
- CORRÊA, R.M.; NASCIMENTO, C.W.A.; FREIRE, F.J.; SOUZA, S.K.; SILVA, G.B. Disponibilidade e níveis críticos de fósforo em milho e solos fertilizados com fontes fosfatadas. *Revista Brasileira de Ciências Agronômicas*, v. 3, p. 218-224, 2008.
- CORREIA, M.E.F.; ANDRADE, A.G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS G. A. et al. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, p. 137-158, 2008.
- COSTA, O.V.; CANTARUTTI, R.B.; FONTES, L.E.F.; COSTA, L.M.D.; NACIF, P. G.S.; FARIA, J.C. Soil carbon stocks under pasture in costal table land areas in southern Bahia state, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1137-1145, 2009.
- COSTA, Y.T.; RODRIGUES, S. C. Efeito do fogo sobre vegetação e solo a partir de estudo experimental em ambiente de cerrado. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 30, p. 149-165, 2016.
- COUTO, E.G.; CHIG, L.A.; NUNES DA CUNHA, C.; LOUREIRO, M.F. **Estudo sobre o impacto do fogo na disponibilidade de nutrientes, no banco de sementes e na biota de solos da RPPN SESC Pantanal**. Serviço Social do Comércio 2, Departamento Nacional, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006. 56 p.
- CPRM: Serviço Geológico do Brasil. **Geodiversidade do Estado do Amazonas**; Maria Adelaide Mansini Maia José Luiz Marmos (Orgs.), Manaus, 2010.

CRAVO, M.S.; CORTELETTI, J.; NOGUEIRA, O.L.; SMYTH, T.J.; SOUZA, B.D.L. Sistema Bragantino: Agricultura Sustentável para a Amazônia. **Embrapa Amazônia Oriental**, Belém, 2005.

CRISCUOLI, I.; ALBERTI, G.; BARONTI, S.; FAVILLI, F.; MARTINEZ, C.; CALZOLAR, F.; PUSCEDDU, E.; RUMPEL, C.; VIOLA, R.; MIGLIETTA, F. Carbon sequestration and fertility after centennial time scale incorporation of charcoal in soils. **Plos One**, v. 9, n. 3, 2014.

CUNHA, N.G. Considerações sobre os solos da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Mato-Grossense. EMBRAPA-UEPAE, **Circular Técnica 1**, Corumbá, 1980. 45p.

DALMOLIN, R.S.D.; GONÇALVES, C.N.; DICK, D.P.; KNICKER, H.; KLAMT, E.; KÖGEL-KNABNER, I. Organic matter characteristics and distribution in Ferralsol profiles of a climate sequence in Southern Brazil. **European Journal of Soil Science**, v. 57, p. 644-654, 2006.

DEMEYER, A. NKANA, J.C.V.; VERLOO, M. G. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. **Bioresource Technology**, v. 77, p. 287-295, 2001.

DESJARDINS, T.; BARROS, E.; SARRAZIN, M.; GIRARDIN, C.; MARIOTTI, A. Effects of forest conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in Brazilian Amazonia. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 103, n. 2, p. 365-373, 2004.

DIAS, D.G.; PEGORARO, R.F.; ALVES, D.D.; PORTO, E.M.; SANTOS NETO, J. A.; ASPIAZÚ, I. Produção do capim Piatã submetido a diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 330-335, 2015.

DIAS, Produção do capim piatã submetido a diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 330-335, 2015.

DIAS, Rendimento forrageiro do capim marandu submetido a diferentes fontes de fósforo. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 10, n. 4, p. 345-350, 2012.

DIAS-FILHO, M.B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4. ed.; Belém, PA, 2011b.

DIAS-FILHO, M.B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém, PA.; Embrapa Amazônia Oriental, 2014b. 36 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 402).

DIAS-FILHO, M.B. Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 243-252, 2011a. Suplemento.

DIAS-FILHO, M.B. Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 243-252, 2011a. Suplemento.

DIAS-FILHO, M.B. **Recuperação de pastagens e segurança alimentar: uma abordagem histórica da pecuária na Amazônia**. Bebedouro: Editora Scot Consultoria, 2013.

DIAS-FILHO, M.B.; SIMÃO NETO, M. Eficiências agronômica e econômica de um fosfato parcialmente acidulado em *Brachiaria brizantha* (cv. Marandu). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 3, p. 393-401, 1992.

DICK, D.P.; MARTINAZZO, R.; DALMOLIN, R.; 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**, v. 43, p. 633-640, 2008.

DICK, D.P.; NOVOTNY, E.H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Química da matéria orgânica do solo. *In*: MELO, V.F. & ALLEONI, L.R.F (eds). **Química e mineralogia do solo: Parte 2 - Aplicações**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 1-68.

DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B.; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Orgs.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição Mineral de Plantas: princípios e perspectivas**. Eds: Emanuel Epstein e Arnold J. Bloom. Tradução: Maria Edna Tenório Nunes, 2º ed., Editora Planta, Londrina, 2006. 403 p.

ESTIVALET JÚNIOR, C.N.O. **Efeitos de ceifa, queima e diferimento sobre a disponibilidade de forragem e composição botânica de uma pastagem natural**. 1997. 82 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Programa de Pós-graduação em Zootecnia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

FAN, J.; ZHONG, H.; HARRIS, W.; YU, G.; WANG, S.; HU, Z.; YUE, Y. Carbon storage in the grasslands of China based on field measurements of above- and below-ground biomass. **Climatic Change**, v. 86, p. 375–396, 2008.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Status of the world's soil resources**. Rome, 2015a.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **World Livestock 2013: Changing disease landscapes**; Rome, 2013.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **World Fertilizer trends and outlook to 2018**. Rome, 2015b.

FAOSTAT. Statistic Division. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Rome, 2015.

FARDEAU, J.C. Dynamics of phosphate in soils: An isotopic outlook. **Fertiliser Research**. v. 45, p. 91-100, 1996.

FARELLA, N.; LUCOTTE, M.; DAVIDSON, R.; DAIGLE, S. Mercury release from deforested soils triggered by base cation enrichment. **Science of the Total Environment**, v. 368, p. 19-29, 2006.

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**, v. 6, p. 489-494, 2011.

FARIAS, S.C.C.; JÚNIOR, S.; RUIVO, M.D.L.P.; RODRIGUES, P.G.; MELO, V.S. D.; COSTA, A.D.R.; SOUZA JÚNIOR, J.C.D. Phosphorus Forms in Ultisol Submitted to Burning and Trituration of Vegetation in Eastern Amazon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016.

FERNANDES, A.H.B.M.; FERNANDES, F.A. **Características químicas do solo em área de pastagem nativa recém queimada no Pantanal arenoso, MS**. Corumbá: Embrapa Pantanal, Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 36, 2002. 18 p.

FERNANDES, F.A.; FERNANDES, A.H.B.M. **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Embrapa Pantanal, Com Téc. 69, 2008.

FREIRE, F.M.; FONSECA D.M.; CANTARUTTI, R.B. Manejo da fertilidade do solo em pastagens. **Informações Agropecuárias**, v. 26, n. 226, p. 44-53, 2005.

FREITAS, S.R.; LONGO, K.M.; SILVA DIAS, M.A. F.; SILVA DIAS, P.L. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 167-185, 2005.

FRITZE, H.; SMOLANDER, A.; LEVULAT, T.; KITUNEN, V.; MÄLKÖNE, E. Wood-ash fertilization and fire treatments in a Scots pine forest stand: Effects on the organic layer, microbial biomass and microbiological activity. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 17, p. 57-63, 1994.

FURLANI, A.M.C. **Nutrição Mineral**. In: Kerbauy, G. B. Fisiologia Vegetal. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2004. P. 40-75.

FURUYA, F.E.S.; PINOTTI, É.B.; DE GODOY, L.J.G.; MENDES, R. **Avaliação preliminar da eficiência agrônômica do fosfato magnesiano, a base de fosforita, na cultura do milho**. XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo; Uberlândia, 2012.

GEELHOED, J.S.; HIEMSTRA, T.; Van RIEMSDIJK, W.H. Phosphate and sulfate adsorption on goethite: Single anion and competitive adsorption. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 61, p. 2389-2396, 1997a.

GOEDERT, W.J.; REIN, T.A.; SOUZA, D.M.G. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais, fosfatos parcialmente acidulados e termofosfatos em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25, n. 4, p. 521-530, 1990.

GOULDING, K.; POWLSON, D.; WHITMORE, A.; MACDONALD, A. 'Food Security Through Better Soil Carbon Management'; In: **Ecosystem Services and Carbon Sequestration in the Biosphere**, by R. Lal, K. Lorenz, R.F. Hüttl, B.U. Schneider, and J. von Braun (Eds), p. 63-78, Springer Netherlands, 2013.

GRACE, J.; JOSÉ, J.S.; MEIR, P.; MIRANDA, H.S.; MONTES, R.A. Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. **Journal of Biogeography**, v. 33, n. 3, p. 387-400, 2006.

GRANSEE, A. Interação do K com amônio. **Simpósio sobre Potássio na Agricultura Brasileira**. São Pedro, SP, POTAFOS, 22 a 24 de setembro, 2004.

GUEDES, E.M.S.; FERNANDES, A.R.; LIMA, E.V.; GAMA, M. A.P.; DA SILVA, A. L.P. Fosfato natural de Arad e calagem e o crescimento de *Brachiaria brizanta* em Latossolo Amarelo sob pastagem degradada na Amazônia. **Revista de Ciências**

Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, v. 52, n. 1, p. 117-129, 2011.

GUILD, L.S.; KAUFFMAN, J.B.; ELLINGSON, L.J.; CUMMINGS, D.L.; CASTRO, E.A.; BABBITT, R.E.; WARD, D.E. Dynamics associated with total aboveground biomass, C, nutrient pools and biomass burning of primary forest and pasture in Rondonia during SCAR-B. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, P. 32091–32100, 1998.

HAMMOND, L.L.; CHIEN, S.H.; MOKWUNYE, A.U. Agronomic value of unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to the tropics. **Advances in Agronomy**, v. 40, p. 89-140, 1986.

HAQUE, I.; LUPWAYI, N. Z.; SSALI, H. Agronomic effectiveness of unacidulated and partially acidulated Minjingu rockphosphates on *Stylosanthes guianensis*, **Tropical Grasslands**, v. 33, p. 159–164, 1999.

HAYNES, R.J.; WILLIAMS, P.H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. **Advances in agronomy**, v. 49, p. 119-199, 1993.

HENG, L.K. SAKADEVAN, K. DERCON, G. International Symposium on Managing Soils for Food Security and Climate Change Adaptation and Mitigation; FAO/IAEA - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Joint Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture**, Rome, 2014.

HENG, L.K. SAKADEVAN, K. DERCON, G. **International Symposium on Managing Soils for Food Security and Climate Change Adaptation and Mitigation**. FAO/IAEA: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Joint Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, Rome, 2014.

HERINGER, I.; JACQUES, A.V.A.; BISSANI, C.A.; TEDESCO, M. Características de um latossolo vermelho sob pastagem natural sujeita à ação prolongada do fogo e de práticas alternativas de manejo. **Ciência Rural**, v.32, p. 309-314, 2002a.

HERINGER, I.; JACQUES, A.V.A. Acumulação de Forragem e Material Morto em Pastagem Nativa sob Distintas Alternativas de Manejo em Relação às Queimadas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 2, p. 599-604, 2002b.

HERINGER, I.; JACQUES, A.V.A. Nutrientes no mantilho em pastagem nativa sob distintos manejos. **Ciência Rural**, v. 32, n. 5, p. 841-847, 2002c.

HOFFMANN, C.R.; FAQUIN, V.; GUEDES, G.A.A. et al. O nitrogênio e o fósforo no crescimento da *Brachiaria spp* e do colônio em amostras de um Latossolo da região Noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 79-86, 1995.

HOLT, J.A.; COVENTRY, R.J. Nutrient Cycling in Australian Savannas. **Journal of Biogeography**, v. 17, n. 4/5, Savanna Ecology and Management: Australian Perspectives and Intercontinental Comparisons, July-September, p.427-432. 1990.

HURTADO S.M.C.; SILVA C.A.; RESENDE A.V.; CORAZZA E.J.; SHIRATSUCHI L.S.; HIGASHIKAWA, F.S. **Sensitivity of the chlorophyll meter for nutritional diagnostic of nitrogen in corn (*Zea mays* L.)**. *Ciência Agrotécnica*, v. 34, n. 3, p. 688-697, 2010.

IEIRI, A.Y.; LANA, R.M.P.; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA. H.S. Fontes, doses e métodos de aplicação de fósforo na recuperação de pastagem com *Brachiaria*. **Ciência Agrotécnica**, v. 34, n. 5, p. 1154-1160, 2010.

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Monitoramento de Queimadas**.

Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas>. Acesso em: 13/08/2016, às 18h28.

JACQUES, A.V.A. A queima das pastagens naturais—efeitos sobre o solo e a vegetação. **Ciência Rural**, v. 33, n. 1, p. 177-181, 2003.

JERKE, C.; SOUSA, D.M.G.D.; GOEDERT, W.J. Organic carbon distribution in an Oxisol under phosphate fertilizer management and no-tillage in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 3, P. 442-448, 2012.

KAUFFMAN, J.B.; CUMMINGS, D.L.; HUGHES R.F. Biomass decline in Amazon forest fragments. **Science**, n. 282, p. 1611a, 1998a.

KIEHL, E. J. **Adubação orgânica: 500 perguntas & respostas**. Piracicaba: E.J. Kiehl, 2008. 227 p.

KINDERMANN, G.; MCCALLUM; I., FRITZ, S.; OBERSTEINER, M. A global forest growing stock, biomass and carbon map based on FAO statistics. **Silva Fennica**, v. 42, n. 3, p. 387-396, 2008.

KLUMP, K.; SOUSSANA, J.F.; FALCIMAGNE, R. Effects of past and current disturbance on carbon cycling in grassland mesocosms. **Agricultural and Ecosystems Environment**, v. 121, p. 59–73, 2007a.

- KNICKER, H. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. **Biogeochemistry**, v.85, p.91-118, 2007.
- KNICKER, H. Pyrogenic organic matter in soil: Its origin and occurrence, its chemistry and survival in soil environments. **Quarter. International**, v. 243, p. 251-263, 2011.
- KNICKER, H.; GONZÁLEZ-VILA, F.J.; POLVILLO, O.; GONZÁLEZ, J.A.; ALMENDROS, G. Wildfire induced alterations of the chemical composition of humic material in a Dystric Xerochrept under a Mediterranean pine forest (*Pinus pinaster* Aiton). **Soil Biology and Biochemistry**, v.37, p.701-718, 2005.
- LAL, R. Soil Carbon Sequestration. In: SOLAW: Background Thematic Report TR04B. The State of the World's Land and Water Resources. **Food and Agriculture Organisation of the United Nations**, Rome, 2011.
- LAL, R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 60, n. 2, p. 158–169, 2009.
- LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v. 204, p. 1623-1627, 2004a.
- LANGE, J.L. **Suprimento combinado de fósforo e magnésio para a produção e nutrição do capim-Tanzânia**. (Dissertação de Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba, 2007.
- LANNA, A.C. Prospecção do impacto ambiental de tecnologias agropecuárias. **Revista Anhanguera**, v. 6 n. 1, p. 35-56, 2005.
- LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Rima, 2006. 550 p.
- LIMA, H.N.; VALE JÚNIOR, J.F. & MELLO, J.W.V. Uso dos solos e alterações da paisagem na Amazônia: cenários e reflexões. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ser. Ciências da Terra*, v. 12, p. 63-104, 2000.
- LIMA, S. DE O.; FIDELIS, R. R.; Costa, S. J. Avaliação de fontes e doses de fósforo no estabelecimento de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu no sul do Tocantins. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, p. 100-105, 2007.
- LIU, S.; ZHANG, F.; DU, Y.; GUO, X.; LIN, L.; LI, Y.; LI, Q.; CAO, G. Ecosystem Carbon Storage in Alpine Grassland on the Qinghai Plateau. **Plos One**, v. 11, n. 8, 2016.

LIU, Z.; SHAO, M. A.; WANG, Y. Effect of environmental factors on regional soil organic carbon stocks across the Loess Plateau region, China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 142, n. 3, p. 184-194, 2011.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. *In*: NOVAIS, R.F. *et al.* **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, p. 1-64, 2007.

LORENZON, A.S.; BRIANEZI, D.; VALDETAR, E.B.; SOUZA, C.M.; MARTINS, S.V.; RIBEIRO, C.A.A.S.; SILVA, E.; JACOVINE, L.A.G. Análise de um solo florestal após ocorrência do fogo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 4, n. 2, p. 142-147, 2014.

LUIZÃO, F.J.; FEARNside, P.M.; CERRI, C.E.; LEHMANN, J. The maintenance of soil fertility in Amazonian managed systems. **Amazonia and Global Change**, p. 311-336, 2009.

LUIZÃO, F.J.; FEARNside, P.M.; CERRI, C.E.P.; LEHMANN, J. The maintenance of soil fertility in Amazonian managed systems. pp. 311-336. *In*: M. Keller, M. Bustamante, Gash J.; P. da Silva Dias, P. S. (eds.). **Amazonia and Global Change**. Geophysical Monograph Series, v. 186, American Geophysical Union (AGU), Washington, DC, U.S.A., 2009. 565 p.

MA, A.; HE, N.; YU, G.; WEN, D.; PENG, S. Carbon storage in Chinese grassland ecosystems: Influence of different integrative methods. **Scientific reports**, v. 6, 2016.

MACEDO, M.C.M. Pastagens no ecossistema cerrados: evolução das pesquisas para o desenvolvimento sustentável. *In*: Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia. 42., 2005. Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBZ, CD-ROM, 2005.

MACHADO, V.J.; SOUZA C.H.E. Disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico de liberação lenta. **Bioscience Journal**, v. 28, p. 1-7, 2012.

MACHADO, V.J.; SOUZA, C.H.E.; ANDRADE, B.B.; LANA, R.M.Q.; KORNDÖRFER, G.H. Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 1, p. 70-76, 2011.

MACIEL, G.A.; GIGANTE, S.E.; COSTA, V.A.; FURTINI NETO, A.E.; FERREIRA, M.M.; EVANGELISTA, A.R. Efeito de diferentes fontes de fósforo na

Brachiaria Brizantha (cv. Marandu) cultivada em dois tipos de solo. **Ciência Animal Brasileira**, v. 8, n. 2, p. 227-233, 2007.

MACKENSEN, J.; HOLSCHER, D.; KLINGE R.; FOLSTER, H. Nutrient transfer to the atmosphere by burning of debris in eastern Amazonia.; **Forest Ecology and Management**, v. 86, p. 121-128, 1996.

MAGALHÃES, A.F., PIRES, A.J.V., CARVALHO, G.D., SILVA, F.D., SOUSA, R.S., VELOSO, C.M. Influência do nitrogênio e do fósforo na produção do capim-braquiária. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 5, p. 1240-1246, 2007.

MAGNANTI, N.J.; ALMEIDA, M.; MAFRA, A. L. Desempenho do fosfato natural alvorada comparando superfosfato triplo na introdução de pastagem perene de inverno. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 4, n. 2, p.133-144, 2006.

MAIA, S.M.F.; OGLE, S.M.; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. **Geoderma**, v. 149, n. 1, p. 84-91, 2009.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. *In*: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. e; VITTI, G.C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, p. 189-249, 2007.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

MALAVOLTA, Eurípedes. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Agronômica Ceres, 2006.

MARAHATTA, S.; SAH, S.K.; MACDONALD, A.; TIMILNISA, J.; DEVKOTA, K. P. Influence of conservation agriculture practices on physical and chemical properties of soil. **International Journal of Advanced Research**, v. 2, n. 12, p. 43-52, 2014.

MARCHÃO, R.L.; BECQUER, T.; BRUNET, D.; BALBINO, L.C.; VILELA, L.; BROSSARD, M. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop–livestock management systems. **Soil & Tillage Research**, v. 103, p. 442-450, 2009.

- MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. Academic press, 2012. 672p.
- MARTHA JR, G.M.; VILELA, L. **Pastagens no cerrado: baixa produtividade pelo uso limitado de fertilizantes**. Embrapa Cerrados, 2002.
- MATOS, E.D.S.; MENDONÇA, E.D.S.; VILLANI, E.M.D.A.; LEITE, L.F.C.; GALVÃO, J.C.C. Soil phosphorus forms under systems of sole corn and corn-bean intercrop under organic and mineral fertilizer. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 4, p. 625-632, 2006.
- MATOS, F.O.; CASTRO, R.M.S.; RUIVO, M.L.P.; MOURA, Q.L. Teores de Nutrientes do Solo sob Sistema Agroflorestal Manejado com e sem Queima no Estado do Pará. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 3, p. 257-266, 2012.
- MELLO IVO, W.M.P.; MIELNICZUK, J. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 23, n. 1, p. 135-143, 1999.
- MOREIRA, A, GONÇALVES J.R.P.; PLÁCIDO JR, C.G. Mapas da distribuição aproximada da fertilidade dos solos do Estado do Amazonas, **Embrapa Amazônia Ocidental**, Documentos, v. 40, 2005b. 21 pp.
- MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; CARDOSO MORAES, C.M. Eficiência de fontes e doses de fósforo na alfafa e centrosema cultivadas em Latossolo Amarelo. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 37, n. 10, p. 1459-1466, 2002.
- MOSQUERA, O.; BUURMAN, P.; RAMIREZ, B. L.; AMEZQUITA, M.C. Carbon stocks and dynamics under improved tropical pasture and silvopastoral systems in Colombian Amazonia. **Geoderma**, v. 189, p. 81-86, 2012.
- MOXLEY, J.; ANTHONY, S.; BEGUM, K., BHOGAL, A.; BUCKINGHAM, S.; CHRISTIE, P.; MYRGIOTIS, V. **Capturing cropland and grassland management impacts on soil carbon in the UK LULUCF inventory**. London, 2014.
- MÜLLER, M.D.; FERNANDES, E.N.; CASTRO, C.R.T.; PACIULLO, D.S.C.; ALVES, F.F. **Estimativa de acúmulo de biomassa e carbono em sistema agrossilvipastoril na Zona da Mata Mineira**. Pesquisa Florestal Brasileira, n. 60, p. 11-17, 2009.

- MURATA, T.; NGUYEN, M.L.; GOH, K.M. The effects of longterm superphosphate application on soil organic matter content and composition from an intensively managed New Zealand pasture. **European Journal of Soil Science**, v. 46, p. 257-264, 1995.
- MUSE, J.K.; MITCHELL, C.C. Paper mill boiler-ash and lime by-products as soil liming materials. **Agronomy Journal**, v. 87, p. 432-438. 1995.
- NI, J. Forage yield-based carbon storage in grasslands of China. **Climatic Change**, v. 67, n. 2-3, p. 237-246, 2004.
- NOBEL, P.S. **Physicochemical and Environmental Plant Physiology**, 4th edit.; Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of California, Los Angeles, 2009.
- NORONHA, N.C.; ANDRADE, C.A.D.; LIMONGE, F.C.; CERRI, C.C.; CERRI, C. E.P.; PICCOLO, M.D.C.; FEIGL, B.J. Recovery of degraded pasture in Rondônia: macronutrients and productivity of *Brachiaria brizantha*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1711-1720, 2010.
- NOVAIS, R.F.; MELLO, J.W.V. Relação solo-planta: propriedades físico-químicas do solo. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 133-170.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.; V. H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 276-374.
- NYBORG, M.; MALHI, S.S.; SOLBERG, E.D.; IZAURRALDE, R.C. Carbon storage and light fraction C in a grassland dark gray chernozem soil as influenced by N and S fertilization. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 79, p. 317-320, 1999.
- OGLE, S.M.; CONANT, R.T.; PAUSTIAN, K. Deriving grassland management factors for a carbon accounting approach developed by the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Environmental Management**, v. 33, n. 2, p. 474-484, 2004.
- OHNO, T. Neutralization of soil acidity and release of phosphorus and K by wood ash. **Journal Environmental Quality**, v. 21, p. 433-438, 1992.

- OLIVEIRA, E.S.; REATTO, A.; ROIG, H.L. Estoques de carbono do solo segundo os componentes da paisagem. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, p. 71-93, 2015.
- OSZTOICS, C.; NEMETH, B.; MAGYAR, M. Influence of phosphate fertilizer sources and soil properties on trace element concentrations of red clover. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 36, n. 4-6, p. 557, 2005.
- PARDO, D.W.A. Direito e sociedade na Amazônia: sobre a proibição legal do uso do fogo em atividades econômicas agropastoris. **Revista de Direito**, v. 8, n. 2, p. 427-453, 2012.
- PASSOS, R.R.; FAQUIN, V.; CURI, N. *et al.* Fontes de fósforo, calcário e gesso na produção de matéria seca e perfilhamento de duas gramíneas forrageiras em amostras de um Latossolo ácido. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 26, n. 2, p. 227-233, 1997.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. Toxidez de metais em plantas. I. Caracterização de toxidez de manganês em cafeeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 16, n. 6, p. 825-821, 1981.
- PAVAN, M.A. Ciclagem de nutrientes e mobilidade de íons no solo sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 41, p. 8-12, 1997.
- PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 911-920, 2008.
- PEREIRA, J.; PERES, J.R.R. Manejo de matéria orgânica. *In*: GOEDERT, W.J. (Ed.). **Solos dos cerrados: tecnologia e estratégias de manejo**. São Paulo: Embrapa-CPAC, Editora Nobel, p. 261-284, 1985.
- PEREIRA, P.C.; BRAGA, F.A. **Impacto da queima da pastagem nas condições químicas do solo**. *In*: V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental; Belo Horizonte, 2014.
- PIAO, S.; FANG, J.; ZHOU, L.; TAN, K.; TA, T. Changes in biomass carbon stocks in China's grasslands between 1982 and 1999. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 21, 2007.
- POHLMAN, A.A.; McCOLL, J.G. Kinetics of metal dissolution from forest soils by soluble organic acids. **Journal of Environmental Quality**, v. 15, p. 86-92, 1986.

- PROCHNOW, L.I.; ALCARDE J.C.; CHIEN, S.H. Eficiência agronômica dos fosfatos totalmente acidulados. *In*: Simpósio sobre fósforo na agricultura brasileira. **Anais**. Piracicaba: POTAFOS, Piracicaba, 2004. p. 606-609.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas, Instituto Agronômico & Fundação IAC, 1996. 285 p.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres; Potafos, 1991. 343 p.
- RAIJ, B. van. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. IAC, Campinas, 2001.
- RAJAN, S.S.S. Partial acidulation of an ‘unground’ phosphate rock: II. Plant availability of phosphate. **Fertilizer research**, v. 8, n. 3, p. 219-229, 1986.
- RAMOS, S.J., FAQUIN, V., RODRIGUES, C.R., SILVA, C.A., BOLDRIN, P.F. Biomass production and phosphorus use of forage grasses fertilized with two phosphorus sources. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 2, p. 335-343, 2009.
- REDIN, M.; GUÉNON R.; RECOUS, S.; SCHMATZ, R.; LIBERALESSO DE FREITAS, L.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Carbon mineralization in soil of roots from twenty crop species, as affected by their chemical composition and botanical family. **Plant and Soil**, v. 378, p. 205-214, 2014.
- REEDER, J.D.; SCHUMAN, G.E. Influence of livestock grazing on C sequestration in semi-arid mixed grass and short-grass rangelands. **Environmental Pollution**, v. 116, p. 457-463, 2001.
- RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, J.C.P.; FERNANDES, V.B.B.; MAFRA, A.L.; ALMEIDA, J.A. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural**, v. 33, p. 49-55, 2003.
- RIBEIRO, H.; ASSUNÇÃO, J.V. Efeitos das queimadas na saúde humana; **Estudos Avançados**, v. 16, n. 44, 2002.
- RICE, C.W.; OWENSBY, C.E. The effects of fire and grazing on soil carbon in rangelands. Pages 323–342. *In*: R. F. Follett, J. M. Kimble, and R. Lal. (Eds.) **The Potential of U.S. Grazing Lands to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect**. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 2001.

- RODIONOV, A.; AMELUNG, W.; PEINEMANN, N.; HAUMAIER, L.; ZHANG, X.; KLEBER, M.; GLASER, B.; URUSEVSKAYA, I.; ZECH, W. Black carbon in grassland ecosystems of the world. **Global Biogeochemistry Cycles**, v. 24, 2010.
- RONQUIM, C.C. **Dinâmica espaço-temporal do carbono aprisionado na fitomassa dos agroecossistemas do nordeste do estado de São Paulo**. Embrapa Monitoramento por Satélite (Documentos 63), Campinas, 2007.
- ROSA, R.; SANO, E.E.; DOS SANTOS ROSENDO, J. Estoque de carbono em solos sob pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. **Sociedade & Natureza**, v. 26, n. 2, p. 333-351, 2014.
- ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E.J.; PEREIRA, J.A.A. Effects of fire on soil organic matter in a cerrado “*sensu stricto*” from Southeast Brazil as revealed by changes in $\delta^{13}C$. **Geoderma**, v. 95, p. 141-160, 2000.
- ROSENDO, J.D.S.; ROSA, R. Comparison of the estimated C stock in pastures and native Cerrado vegetation. **Sociedade & Natureza**, v. 24, 2, p. 359-376, 2012.
- ROSOLEM, C.A.; ZANCANARO, L.Z.; TESSARO, L.C. Nitrogênio e enxofre na cultura do algodoeiro. *In*: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. & VITTI, G.C. **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba, IPNI, 2007. p. 321-347.
- ROSSI, C.Q.; MARCOS GERVASIO PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; GAZOLLA, P.R.; APERIN, A.; DOS ANJOS, L.H.C. Changes in soil C and N distribution assessed by natural ^{13}C and ^{15}N abundance in a chronosequence of sugarcane crops managed with pre-harvest burning in a Cerrado area of Goiás, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 170, p. 36-44, 2013.
- RUMPEL, C.; CRÈME, A.; NGO, P.T.; VELÁSQUEZ, G.; MORA, M.L.; CHABBI, A. The impact of grassland management on biogeochemical cycles involving carbon, nitrogen and phosphorus. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 15, n. 2, p. 353-371, 2015.
- SALEQUE, M.A.; ABEDIN, M.J.; AHMED, Z.U.; HASAN, M.; PANAUULLAH, G.M. Influences of phosphorus deficiency on the uptake of nitrogen, potassium, calcium, magnesium, sulfur, and zinc in lowland rice varieties. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 24, n. 10, p. 1621-1632, 2001.

SANTANA, G.S.; DICK, D.P.; JACKES, A.V.A.; CHITARRA, G.S. Substâncias húmicas e suas interações com Fe e Al em Latossolo subtropical sob diferentes sistemas de manejo de pastagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 461-472, 2011.

SANTOS JUNIOR, J.D.; MONTEIRO, F.A.; LAVRES JUNIOR, J. Análise de crescimento do Capim-Marandu submetido a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia (Supl. 2)**, v. 33, n. 6, p. 1985-1991, 2004.

SANTOS, A.C.; SANTOS, A.R.; SANTOS, L.G. Teores de nutrientes em pastagem com braquiária em função da interação fósforo e magnésio em um latossolo amarelo. **Magistra**, v. 16, n. 1, p. 9-18, 2004.

SANTOS, E.A.; KLIEMANN, H.J. Disponibilidade de fósforo de fosfatos naturais em solos de cerrado e sua avaliação por extratores químicos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, p. 139- 146, 2005.

SANTOS, H.P.; TOMM, G.O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. **Ciência Rural**, v. 33, n. 3, p. 477-486, 2003.

SANZONOWICZ, C.; GOEDERT, W.J. Uso de fosfatos naturais em pastagens. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, **Circular Técnica 21**, 1986. 33p.

SCHLINDWEIN, J.A.; BORTOLON, L.; GIANELLO, C. Soil phosphorus available for crops and grasses extracted with three soil-test methods in Southern Brazilian soils amended with phosphate rock. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 42, p. 283-292, 2011.

SCHMIDT, M.W.I.; SKJEMSTAD, J.O.; GEHRT, E.; KÖGEL-KNABNER, I. Charred organic carbon in German chernozemic soils. **European Journal of Soil Science**, v. 50, p. 351-365, 1999.

SCHNABEL, R.R.; FRANZLUEBBERS, A.J.; STOUT, W.L.; SANDERSON, M.A.; STUEDEMANN, J.A. The effects of pasture management practices. P. 291-322. *In*: R. F. Follett, J. M. Kimble, and R. Lal. (Eds). **The Potential of U.S. Grazing Lands to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect**. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 2001.

- SCHUMAN, G.E.; JANZEN, H.H.; HERRICK, J.E. Soil carbon dynamics and potential carbon sequestration by rangelands. **Environmental Pollution**, v. 116, p. 391-396, 2002.
- SCHUMAN, G.E.; REEDER, J.D.; MANLEY, J.T.; HART, R.H.; MANLEY W.A. Impact of grazing management on the carbon and nitrogen balance of a mixed-grass rangeland. **Ecological Applications**, v. 9, p. 65-71, 1999.
- SCURLOCK, J.M.O.; HALL, D.O. The global carbon sink, a grassland perspective. **Global Change Biology**, v. 4, p. 229–233, 1998.
- SEGER, C.S.; BATISTA, A.C.; TETTO, A.F.; ALVES, M.V.G.; SOARES, R.V.; BIONDI, D. Incremento da biomassa aérea da vegetação dos campos naturais do paraná em período pos-queima. **Floresta**, v. 46, n. 1, p. 93-101, 2016.
- SERRASOLSAS, I.; KHANNA, P.K. Changes in heated and autoclaved forest soils of SE Australia. II. Phosphorus and phosphatase activity. **Biogeochemistry**, v. 29, n. 1, p. 25-41, 1995.
- SHRESTHA, R.K.; LAL, R.; PENROSE, C. Greenhouse Gas Emissions and Global Warming Potential of Reclaimed Forest and Grassland Soils. **Journal of Environmental Quality**, v. 38, p. 426-436, 2009.
- SILVA NETO, S.P.; DOS SANTOS, A.C.; DE LIMA LEITE, R.L.; DIM, V.P.; DAS NEVES NETO, D.N.; DA CRUZ, R.S. Inclusão da dependência espacial em levantamentos do estoque de carbono em áreas de pastagens de *Brachiaria brizantha* (cv. Marandu). **Acta Amazonica**, v. 42, n. 4, 2012.
- SILVA, C.A.; ANDERSON, S.J.; VALE, F.R. Carbono, nitrogênio e enxofre em frações granulométricas de dois Latossolos submetidos à calagem e adubação fosfatada. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 23, n. 3, p. 593-602, 1999.
- SILVA, G.R.; SILVA Jr., M.L.; MELO, V.S. Efeitos de diferentes usos da terra sobre as características químicas de um latossolo amarelo do Estado do Pará. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 2, p. 151-158, 2006.
- SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; CORAZZA, E.J.; VIVALDI, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the “Cerrado” region, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 103, p. 357-363, 2004.

SILVA, L.S.; CAMARGO, F.D.O.; CERETTA, C.A.; MEURER, E. Composição da fase sólida orgânica do solo. *In: Fundamentos de química do solo*, v. 3, p. 63-90, 2000.

SILVA, M.L.S.; TREVIZAM, A.A.R. Interações iônicas e seus efeitos na nutrição de plantas. **Informações agronômicas**, Piracicaba, IPNI Brasil, 2015.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M.D.C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.D.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy (Online)**, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009.

SKJEMSTAD, J.O.; REICOSKY, D.C.; WILTS, A.R.; MCGOWAN, J.A. Charcoal carbon in US agricultural soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66 p.1249-1255, 2002.

SNYMAN, H.A. Short-term response in productivity following an unplanned fire in a semi-arid rangeland of South Africa. **Journal of Arid Environment**, v. 56, p. 465-485, 2004.

SOARES, W.V.; LOBATO, E.; SOUSA, D.D.; REIN, T.A. Avaliação do fosfato natural de Gafsa para recuperação de pastagem degradada em Latossolo Vermelho-Escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 4, p. 819-825, 2000.

SOCAL Mineradora S/A: **Comunicação pessoal do gerente da empresa**. Registro, SP, 2014.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2. ed., 2004. 416p.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2002. 416p.

SOUSSANA, J.F.; TALLEC, T.; BLANFORT, V. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. **Animal**, v. 4, n. 3, p. 334-350.

SOUZA, R.M.; SOBRAL, L.F.; VIÉGAS, P.R.A., OLIVEIRA JUNIOR, A.; CARVALHO, M.D.C.S. Eficiência agronômica de fosfatos de rocha em solo com elevado teor de cálcio trocável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, p. 1816-1825, 2014.

- SPAIN, J.M.; SALINAS, J.G.A reciclagem de nutrientes nas pastagens tropicais. Reunião brasileira de fertilidade do solo: reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos trópicos. **Anais**. v. 16, Ilheus/BA. 341 p. 1985.
- STEVENSON, F.J. **Humus Chemistry: genesis, composition, reactions**. 2 edit. New York: John Wiley, 1994. 496p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Assimilação de Nutrientes. *In*: Taiz, L.; Zeiger, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, p. 918, 2013.
- TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, R.R.M.; MARTINS, V. Fertilidade química de solo sob pastagens formadas com diferentes espécies nativas e com *Brachiaria decumbens* manejadas com queimadas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, Supl. 1, p. 1771-1782, 2011.
- TEREFE, T.; MARISCAL-SANCHO, I.; PEREGRINA, F.; ESPEJO, R. Influence of heating on various properties of six Mediterranean soils. A laboratory study. **Geoderma**, v. 143, n. 3, p. 273-280, 2008.
- THOMAZ, E.L.; ANTONELI, V.; DOERR, S.H. Effects of fire on the physicochemical properties of soil in a slash-and-burn agriculture. **Catena**, v. 122, 209-215, 2014.
- TOMASI, C.A.; INDA, A.V., DICK, D.P., BISSANI, J.A; FINK, J.R. Atributos químicos e área superficial específica em Latossolo subtropical de altitude sob usos e manejos distintos. **Ciência Rural**, v. 42, n. 12, 2012.
- TRUMBORE, S.; CAMARGO, P.B. Soil carbon dynamics. **Amazonia and global change**, p. 451-462, 2009.
- ULERY, A.L.; GRAHAM, R.C.; AMRHEIN, C. Wood-ash composition and soil pH following intense burning. **Soil Science**, v.156, p.358-364, 1993.
- VARVEL, G.E.; SCHEPERS, J.S.; FRANCIS, D.D. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. **Soil Science Society American Journal**, v.61, p.1233-1239, 1997.
- VASCONCELOS, M.D.C.D.C.; GONÇALVES JÚNIOR, J. M.; SILVA, A.F.A.D.; LIMA, R. D. S. Características químicas de solos sob cultivo tradicional no município de vargem grande-MA. **Agropecuária científica no semiárido**, v. 9, n. 3, 26-29, 2013.

- VELDKAMP, E. **Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation**. Soil Science Society of America Journal, v. 58, n. 1, p. 175-180, 1994.
- VICHIATO, M.; CARVALHO, J.G.D.; VICHIATO, M.R.D.M.; SILVA, C.R.D.R. Phosphorus-magnesium interactions on Tainung nº 1 and Improved Sunrise Solo 72/12 papaya seedlings. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 5, p. 1265-1271, 2009.
- VITTI, G.C.; OTTO, R.; SAVIETO, J. **Manejo do enxofre na agricultura**. IPNI Brasil, Piracicaba, 2015.
- VITTI, G.C. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta**. Jaboticabal, FUNEP, 1989. 37p.
- VITTI, G.C.; WIT, A.; FERNANDES, B.E.P. Eficiência agronômica dos termofosfatos e fosfatos alternativos. *In: Fósforo na Agricultura Brasileira*. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p.688-726.
- WAMBEKE, A. van. Vegetation, soil organic matter and crops. *In: WAMBEKE, A. van. Soils of the Tropics: Properties and Appraisals*. Toronto: McGraw-Hill, 1992. p. 69-95.
- WANG, Q., BAI, Y., GAO, H., HE, J., CHEN, H., CHESNEY, R.C., KUHN, N.J. AND LI, H. Soil chemical properties and microbial biomass after 16 years of no-tillage farming on the Loess Plateau, China. **Soil & Tillage Research**, v. 144, p. 502-508, 2008.
- WERNER, J. C.; PAULINO, V. T.; CANTARELLA, H. Forrageiras. *In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: IAC, 1996. p. 263-273. (IAC. Boletim técnico, 100).
- YAO, M.K.; ANGUI, P.K.T.; KONATÉ, S.; TONDOH, J.E.; TANO, Y.; ABBADIE, L.; BENEST, D. Effects of land use types on soil organic carbon and nitrogen dynamics in Midwest côte d'ivoire. **European Journal of Scientific Research**, v. 40, p. 211-222, 2010.
- ZINN, Y.L.; LAL, R. RESCK D.VS. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 84, n. 2, p. 28-40, 2005.

ANEXOS

ANEXO 1. DOSE MÍNIMA DE P_2O_5 ($DM_{P_2O_5}$), EM $kg\ ha^{-1}$, RECOMENDADA A PARTIR DE FOSFATO DE ROCHA PARCIALMENTE ACIDULADA ALVORADA (FA) E FÓSFORO ELEMENTAR (DMP) REFERENTE AO TRATAMENTO 2 (T2):

$DM_{P_2O_5} = 57,25\ kg\ ha^{-1}\ de\ P_2O_5$ (Barcelos et al., 2011).

Convertendo-se esta dose de $P_2O_5\ ha^{-1}$ para a respectiva dose, em $kg\ ha^{-1}$, na forma de fósforo (P) elementar (DMP):

$$DMP = 57,25\ kg\ ha^{-1}\ de\ P_2O_5 \div 2,29$$

$DMP = 25,0\ kg\ ha^{-1}\ de\ P$ (Barcelos et al., 2011)

Esta dose é considerada baixa por Barcelos et al. (2011). Convertendo-se esta dose para $kg\ m^{-2}$, recomendada na forma de fósforo elementar (DMP) referente ao tratamento 2 (T2), tem-se:

$$DMP\ (kg\ m^{-2}) = (25,0\ kg\ de\ P \times 1,0\ m^2) / 10000\ m^2$$

$DMP\ (kg\ m^{-2}) = 0,0025\ kg\ m^{-2}\ ou\ 2,5\ g\ m^{-2}$.

Esta dose, ao ser calculada em $kg\ parcela^{-1}$ ($DMPa$) de $36,0\ m^2$, recomendada na forma de P elementar referente ao tratamento 2 (T2), tem-se:

$$DMPa = 0,0025\ kg\ m^{-2}\ de\ P \times 10,5\ m^2$$

$DMPa = 0,02625\ kg\ parcela^{-1}\ (ou\ 26,25\ g\ parcela^{-1})\ de\ P$.

Ao se calcular a dose de fosfato de rocha parcialmente acidulada Alvorada (DFA), massa seca, em $kg\ parcela^{-1}$ (DFA) de $10,5\ m^2$, necessária para suprir esta dose baixa de P elementar referente ao tratamento 2 (T2), tem-se:

$$DFA = (100,0\ kg\ de\ FPA \times 0,02625\ kg\ de\ P\ parcela^{-1}) / 11,79\ kg\ de\ P$$

$DFA = 0,222642\ kg\ de\ FA\ (ou\ 222,642\ g)\ parcela^{-1},\ massa\ seca$.

Ao se calcular esta quantidade, em g parcela⁻¹, de fosfato de rocha parcialmente acidulada Alvorada (DFA), considerando-se a umidade de 10%, obtida conforme os cálculos do ANEXO 2, tem-se a dose de FA, massa úmida (DFAu parcela⁻¹) para suprir a dose de FA, massa seca, por parcela (DFA parcela⁻¹) do tratamento 2:

DFAu = 0,24490 kg (ou 244,904 g) parcela⁻¹, massa úmida.

Para o tratamento 3 (T3) tem-se:

$$DFA = 0,222642 \times 4$$

DFA = 0,890568 kg de FPA (ou 890,568 g) parcela⁻¹, massa seca.

Ao se calcular esta quantidade, em g parcela⁻¹, de fosfato de rocha parcialmente acidulada Alvorada (DFA), considerando-se a umidade de 10%, obtida conforme os cálculos do ANEXO 2, tem-se a dose de FA, massa úmida (DFAu parcela⁻¹) para suprir a dose de FA, massa seca, por parcela (DFA parcela⁻¹) do tratamento 2:

DFAu = 0,9796248 kg (ou 979,6248 g) parcela⁻¹, massa úmida.

Esta dose de FA supre 0,01 kg m⁻² de P.

Para o tratamento 4 (T4) tem-se

$$DFA = 0,222642 \times 8$$

DFA = 1,781136 kg de FA (ou 1781,136 g) parcela⁻¹, massa seca.

Ao se calcular esta quantidade, em g parcela⁻¹, de fosfato de rocha parcialmente acidulada Alvorada (DFA), considerando-se a umidade de 10%, obtida conforme os cálculos do ANEXO 2, tem-se a dose de FA, massa úmida por parcela (DFAu parcela⁻¹) para suprir a dose de FPA, massa seca, por parcela (DFA parcela⁻¹) do tratamento 4:

DFAu = 1,9592496 kg (ou 1959,2496 g) parcela⁻¹, massa úmida.

Esta dose de FA supriu 0,02 kg m⁻² de P.

ANEXO 2. CONVERSÃO DO TEOR PRÉVIO DE FÓSFORO NO SOLO, DE mg dm⁻³ PARA g m⁻² DO SOLO DAS PARCELAS REFERENTES AOS TRATAMENTOS COM SUPRESSÃO DE QUEIMADA E COM QUEIMADA

Os teores de P no solo, respectivamente, antes e após a queimada, foram 3,0 mg dm⁻³ (T1) e 6 mg dm⁻³ (T5). Estes valores foram convertidos para g m⁻². Para esta conversão considerou-se que o volume de solo existente no perfil de 0,0-5,0 cm do solo, imediatamente abaixo de uma área de 1,00 m² é de 50 dm³.

Com base nisso, a multiplicação desses valores por 50 dm³ nos forneceram como quantidade de P antes de depois da queimada, em g m⁻²:

a) para o solo do tratamento sem queimada e sem fosfatagem (T1) = 0,003 g x 50,0 dm³ = 0,15 g m⁻²;

b) para o solo do tratamento com queimada (T5) = 0,006 g x 50,0 dm³ = 0,30 g m⁻².

O valor convertido no tratamento com queima foi considerado a quantidade de P proporcionado pela queimada somado ao valor inicial no solo não submetido à queimada. Assim, a quantidade inicial proporcionada pela queima foi de 0,15 g m⁻².

ANEXO 3. DETERMINAÇÃO DE UMIDADE GRAVIMÉTRICA, EM %, DE FOSFATO DE ROCHA PARCIALMENTE ACIDULADA ALVORADA (FA):

A umidade gravimétrica do FA foi determinada em duas amostras de 100,0 g, compostas e representativas, do lote de fevereiro de 2014 da Social Mineradora, em Registro, SP, pela seguinte fórmula:

$$U (\%) = 100 \times (a - b)/b$$

Sendo:

a = massa úmida do fertilizante

b = massa seca do fertilizante.

Procedendo-se ao cálculo da umidade da amostra 1:

$$U1 (\%) = 100 \times (100,0 \text{ g} - 90,05 \text{ g})/100,0 \text{ g}$$

$$U1 (\%) = \mathbf{9,95 \%}.$$

Procedendo-se ao cálculo da umidade da amostra 2:

$$U2 (\%) = 100 \times (10 \text{ g} - 89,95 \text{ g})/100,00 \text{ g}$$

$$U2 (\%) = \mathbf{10,05 \%}.$$

Procedendo-se ao cálculo da umidade média (U_m) das amostras 1 e 2, tem-se:

$$U_m (\%) = (9,95 \% + 10,05 \%)/2$$

$$U_m (\%) = \mathbf{10,00 \%}.$$

Essa umidade média foi utilizada nos cálculos das doses úmidas de FA para suprir as doses secas do fertilizante.

ANEXO 4. CÁLCULO DA DOSE DE NITROGÊNIO (DN) E DE UREIA

(45% N), EM kg ha^{-1} , kg m^2 E EM kg parcela^{-1} .

$$\mathbf{DMN = 120,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N}}$$

Este nível de N pode ser considerada de baixa (Barcelos et al., 2011).
Calculando-se a quantidade de N, em kg m^{-2} , tem-se:

$$DMN = (120,0 \text{ kg} \times 1,0 \text{ m}^2)/10000 \text{ m}^2$$

$$\mathbf{DMN = 0,012 \text{ kg m}^{-2} \text{ de N.}}$$

Calculada, em kg ha^{-1} , a dose de ureia (45% N) para suprir este nível de N m^{-2} é:

$$D_{\text{ureia}} = (100,0 \text{ kg de ureia} \times 120,0 \text{ kg de N}) / 45,0 \text{ kg de N}$$

$$D_{\text{ureia}} = 266,67 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de ureia.}$$

Calculando-se a quantidade de ureia, em kg m^{-2} , para supri-la, tem-se:

$$\text{DMN (kg ha}^{-1}\text{)} = (266,67 \text{ kg} \times 1,0 \text{ m}^2) / 10000 \text{ m}^2$$

$$\text{DMN (kg ha}^{-1}\text{)} = 0,02667 \text{ kg m}^{-2} \text{ (ou } 26,67 \text{ g m}^{-2}\text{) de ureia.}$$

Esta dose, ao ser calculada em kg parcela^{-1} (DMNpa), recomendada na forma de ureia:

$$\text{DMNpa} = 0,02667 \text{ kg m}^{-2} \text{ de ureia} \times 10,5 \text{ m}^2$$

$$\text{DMNpa} = 0,280 \text{ kg parcela}^{-1} \text{ de ureia ou } 280,0 \text{ g parcela}^{-1} \text{ de ureia.}$$

ANEXO 5. CÁLCULOS DA DOSE MÍNIMA, EM kg ha^{-1} , DE POTÁSSIO (DMK) E DOSE DE CLORETO DE POTÁSSIO (60% K_2O), EM kg ha^{-1} .

$$\text{DMN} = 35,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de } \text{K}_2\text{O} \text{ (Barcelos et al., 2011).}$$

Esta dose de K_2O corresponde a 29,0 kg de K elementar por hectare pode ser considerada média (Barcelos et al., 2011). Transformando-se K_2O para K elementar e calculando-se o valor em kg m^{-2} , tem-se:

$$\text{DMK}_{\text{K}_2\text{O}} = (35,0 \text{ kg} \times 1,0 \text{ m}^2) / 10000 \text{ m}^2$$

$$\text{DMK}_{\text{K}_2\text{O}} = 0,0035 \text{ kg m}^{-2} \text{ (ou } 3,5 \text{ g m}^{-2}\text{) de } \text{K}_2\text{O.}$$

Transformando-se esta dose de K_2O para K elementar em kg m^{-2} , tem-se:

$$\text{DMK} = 0,0035 \text{ kg m}^{-2} \text{ de } \text{K}_2\text{O} \div 1,20458$$

$$\text{DMK} = 0,0029 \text{ kg m}^{-2} \text{ de K.}$$

Calculada, em kg ha^{-1} , a dose de cloreto de potássio (KCl) para suprir a dose de K_2O e de K elementar é:

$$D_{\text{KCl}} = (100,0 \text{ kg de KCl} \times 35,0 \text{ kg de K}_2\text{O}) / 60 \text{ kg de K}_2\text{O}$$

$$D_{\text{KCl}} = \mathbf{58,33 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de KCl.}}$$

Calculando-se a quantidade de KCl, em kg m^{-2} , para supri-la, tem-se:

$$DM_{\text{KCl}} (\text{kg ha}^{-1}) = (155,55 \text{ kg} \times 1,0 \text{ m}^2) / 10000 \text{ m}^2$$

$$DM_{\text{KCl}} (\text{kg ha}^{-1}) = \mathbf{0,00583 \text{ kg m}^{-2} \text{ (ou } 5,83 \text{ g m}^{-2}) \text{ de KCl.}}$$

Esta dose, ao ser calculada em kg parcela^{-1} (DMKp), recomendada na forma de ureia:

$$DMKp = \mathbf{0,0058 \text{ kg m}^{-2} \text{ de KCl}} \times 10,5 \text{ m}^2$$

$$DMKp = \mathbf{0,006121 \text{ kg parcela}^{-1} \text{ de KCl ou } 61,21 \text{ g parcela}^{-1} \text{ de KCl.}}$$