



**Universidade de Brasília
Faculdade UnB Planaltina
Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural**

NATÁLIA LOPES RODOVALHO

Efeito do capim-gordura (*Melinis minutiflora*) sobre a dinâmica de nitrogênio em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola

Brasília, 2016

NATÁLIA LOPES RODOVALHO

Efeito do capim-gordura (*Melinis minutiflora*) sobre a dinâmica de nitrogênio em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural da Universidade de Brasília, como requisito para obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural.

Área de concentração: Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural

Linha de Pesquisa: Monitoramento Ambiental

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Gabriela Bielefeld Nardoto

Brasília, 2016

Dissertação de Mestrado

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

RR695 Rodovalho, Natália Lopes
Efeito do capim-gordura (*Melinis minutiflora*)
sobre a dinâmica de nitrogênio em fragmento de
cerrado sentido restrito circundado por matriz
agrícola / Natália Lopes Rodovalho; orientador
Gabriela Bielefeld Nardoto. -- Brasília, 2016.
82 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Meio Ambiente
e Desenvolvimento Rural) -- Universidade de Brasília,
2016.

1. cerrado sentido restrito. 2. *Melinis
minutiflora*. 3. nitrogênio. 4. isótopos estáveis. 5.
paisagem isotópica. I. Nardoto, Gabriela Bielefeld,
orient. II. Título.

Dissertação de Mestrado

NATÁLIA LOPES RODOVALHO

Título:

“ EFEITO DO CAPIM-GORDURA (*Melinis minutiflora*) SOBRE A DINÂMICA DE NITROGÊNIO EM FRAGMENTO DE CERRADO SENTIDO RESTRITO CIRCUNDADO POR MATRIZ AGRÍCOLA ”

Banca Examinadora

Prof.^a Dr.^a Gabriela Bielefeld Nardoto
Presidente/Orientador
ECL/IB – UnB

Prof^o. Dr^o. Ludgero Cardoso Galli Vieira
Membro Titular
FUP - UnB

Prof^o. Dr^o. Cícero Celio de Figueiredo
Membro Titular
FAV - UnB

Dr.^a Maria Regina Silveira Sartori Silva
Membro Suplente
IB-UnB

Brasília, 6 de julho de 2016

Dedico este trabalho à meus pais pelo apoio incondicional
à meu esposo, Rodrigo, pelo amor, cuidado e carinho
à minha “Bijuzinha” (*in memoriam*) pelo exemplo de força e luta

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Gabriela Bielefeld Nardoto pela, orientação, confiança, paciência e apoio imprescindíveis para a execução desse trabalho. Pelo exemplo de dedicação e ética e pela preocupação em proporcionar o melhor para a minha formação. Sou eternamente grata por todos os incentivos, ensinamentos e oportunidades oferecidos durante esses anos de trabalho em conjunto.

Ao Sr. Natalício Schinziani por permitir a realização do trabalho em sua propriedade rural.

À técnica Regina por todos ensinamentos e apoio técnico e a amiga Rê por todos os conselhos e ombro amigo.

À Alexandra e sua equipe da Embrapa Cerrados pelo uso do FIA.

À Carlinha (Chu) pela linda amizade construída durante todo esse tempo, pela preocupação com meu trabalho, pelas incansáveis ajudas e ensinamentos, pela convivência, pelas conversas e troca de ideias.

Ao Fábio, Pedro, Carla, Ray e Kisaka pela imprescindível ajuda em campo.

À Luiza e ao Pedro pela ajuda com o processamento das amostras de solo e serapilheira.

Ao João Paulo pela ajuda com as Isoscapes e ao Tiago Kisaka pela ajuda com a estatística.

Aos amigos do laboratório Carla Roberta (Chu), Ray Alves, Tiago Kisaka (Kisakinha), Vinícius Pompermaier (Vini), Fábio Santos e João Paulo Souza pela agradável convivência, pelos almoços, pelas ajudas, pelas risadas, pelas conversas e por ser o melhor grupo de laboratório que alguém pode ter.

Ao pessoal do Encontros Isotópicos e do NEAT (Núcleo de Estudos de Ambientes Tropicais) por todas as contribuições.

Ao Eduardo por ensinar o processo de pesagem das amostras isotópicas.

À CAPES pela bolsa de mestrado concedida o que possibilitou a minha dedicação exclusiva a esse trabalho.

Ao Programa de Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural.

Aos meus pais, irmãs e sobrinho por todo amor, apoio e incentivo.

A meu esposo Rodrigo pelo incentivo, apoio, pela compreensão nas minhas ausências, pelo companheirismo, cuidado, amor e força.

À Deus pelo dom da vida e pela capacidade de aprender.

A todos que de alguma forma contribuíram com esse trabalho

O MEU MUITO OBRIGADA!!!

“É triste pensar que a natureza fala e que o gênero humano não a ouve”

Victor Hugo

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Fragmento escolhido para realização do estudo. Localizado na GO-430, km 1, município de Formosa-GO, coordenadas 232931,19 mE e 8289229,17 mS, pertencente a bacia hidrográfica do Ribeirão Pípiripau. 33
- Figura 2. Esquema de instalação das parcelas e pontos de coleta do fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, área de execução do trabalho 38
- Figura 3. Identificação do tipo de vegetação coletado em cada parcela do fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015. 43
- Figura 4. pH_{H_2O} (a) e pH_{CaCl_2} (b) dos solos sob sub-parcelas de CSS, N e CG, em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015. 44
- Figura 5. Interpolação dos dados de pH_{H_2O} dos solos sob CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015 45
- Figura 6. Taxa de decomposição (K) da serapilheira de CSS (C3), N (C3/C4) e CG (C4) em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF. Onde (a) corresponde a litterbag com malha de 1mm e (b) corresponde a litterbag com malha de 2mm..... 48
- Figura 7. Concentração de $N-NH_4^+$ (a) e $N-NO_3^-$ (b) em $mg.kg^{-1}$ dos solos em sub-parcelas de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015 49
- Figura 8. Razão $N-NH_4^+/N-NO_3^-$ dos solos das sub-parcelas de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015 49

Figura 9. Taxa de mineralização líquida (a) e nitrificação líquida (b) em $\text{mg.kg}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ no solo das sub-parcelas de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015..... 50

Figura 10. Discriminação isotópica das sub-parcelas de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015..... 53

Figura 11. Relação entre N mineral ($\text{N-NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) do solo e o $\delta^{15}\text{N}$ (‰) da serapilheira nas sub-parcelas de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015. Para CSS $y=0,68 + (-0,00008x)$; $r^2<0,0001$, r^2 ajustado = 0,037; $p=0,99$; para N $y=-1,66+(-0,006x)$, $r^2=0,0006$; r^2 ajustado=0,03; $p=0,89$; para CG $y= -2,48+0,12x$, $r^2=0,14$ r^2 ajustado= 0,11; $p=0,03$ 54

Figura 12. Relação entre N mineral ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$) do solo e o $\delta^{15}\text{N}$ (‰) do solo nas áreas de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015. Para CSS $y=-5.72+0.01x$; $r^2=0.008$, r^2 ajustado = 0,02; $p=0,63$; para N $y=-5,83+0.03x$, $r^2=0,02$; r^2 ajustado=0,01; $p=0,47$; para CG $y= -5,98+ 0,01x$, $r^2=0,003$ r^2 ajustado = -0,04; $p=0,77$ 54

Figura 13. Isoscapes dos dados de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ dos solos de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015 55

Figura 14. Relação entre biomassa, taxa de decomposição e razão C/N do solo e da serapilheira CSS, N e CG..... 56

Figura 15. Ciclagem de N em sub-parcelas de CSS, N e CG. 57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo do centro do fragmento de cerrado sentido restrito correspondente a área de estudo	36
Tabela 2. Valores de pH H ₂ O e pH CaCl ₂ de solo em sub-parcelas de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015	44
Tabela 3. Massa em gramas ao longo do tempo de decomposição de serapilheira de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF	47
Tabela 4. Concentração de N-NH ₄ ⁺ e N-NO ₃ ⁻ no solo das sub-parcelas de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015	50
Tabela 5. Valores do $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ no solo das sub-parcelas de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015	51
Tabela 6. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ e de $\delta^{13}\text{C}$ da serapilheira de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015.....	51
Tabela 7. Valores de %N, %C e razão C/N do solo de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015.....	52
Tabela 8. Valores de %N, %C e razão C/N da serapilheira de CSS (C3), N (C3) e CG (C4) em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015	52

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	11
RESUMO	14
ABSTRACT	16
1. INTRODUÇÃO	16
2. HIPÓTESE	18
3. OBJETIVO GERAL	18
4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
5.1 Invasão Biológica	19
5.2 Fragmentação no Cerrado	21
5.3 Capim-gordura - <i>Melinis minutiflora</i> P. Beauv.	22
5.4 Dinâmica de N em áreas de Cerrado invadida por capim-gordura	24
5.5 Dinâmica de Nitrogênio em solo de Cerrado	25
5.6 Razão isotópica de Nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$), Carbono ($\delta^{13}\text{C}$)	27
5.6.1. Razão isotópica de Nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$)	27
5.6.2. Razão isotópica de carbono ($\delta^{13}\text{C}$)	30
5.7 Razão C/N e decomposição da serapilheira	30
5.8 ISOSCAPES (paisagem isotópica)	31
6. ÁREA DE ESTUDO	33
7. METODOLOGIA	36
Análises laboratoriais	38
7.1 Análise isotópica solo e serapilheira	38
7.2 Concentração de N-NH_4^+ e N-NO_3^- e taxas de mineralização	39
7.3 Teor de água gravimétrica	40
7.4 Taxa de decomposição da serapilheira	40
7.5 pH do solo	41
7.6 Análises estatísticas	42
7.7 Análise espacial	42
8. RESULTADOS	42
8.1 Potencial Hidrogeniônico (pH) do solo	43
8.2 Decomposição da serapilheira	46
8.3 Concentração de N-NH_4^+ e N-NO_3^- no solo, taxas de mineralização líquida, nitrificação líquida e razão $\text{N-NH}_4^+/\text{N-NO}_3^-$	48
8.4 $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ do solo	50
8.5 $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ da serapilheira	51

8.6	Contribuição das fontes C3 e C4 na matéria orgânica	51
8.7	Teores de N e C e razão C/N no solo e na serapilheira	52
8.8	Discriminação isotópica (Δ)	52
8.9	Relação N-mineral do solo e $\delta^{15}\text{N}$ da serapilheira e do solo	53
8.10	Isoscapes $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$	55
9.	DISCUSSÃO	56
10.	CONCLUSÃO	62
11.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
12.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

RESUMO

RODOVALHO, N.L. **Efeito do capim-gordura (*Melinis minutiflora*) sobre a dinâmica de nitrogênio em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola.** 2016.79p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

A invasão de gramíneas exóticas em áreas de Cerrado está intimamente ligada à conversão da paisagem nativa em áreas de agricultura e pastagem. Dentre elas, o capim-gordura é conhecido como uma das principais espécies invasoras do Cerrado. Nesse bioma ele é capaz de alterar a biomassa nativa, a comunidade de microrganismos do solo, disponibilizar mais nutrientes para o solo, possuir maior eficiência no uso do nitrogênio do que as gramíneas nativas e a se adaptar a condições de fogo. Essa gramínea invasora pode alterar a composição de espécies, a estrutura das comunidades e as principais funções dos ecossistemas naturais. O presente estudo teve como objetivo avaliar o impacto do capim-gordura (*Melinis minutiflora*) na dinâmica de N em um fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola. A seguinte hipótese foi testada: áreas de Cerrado invadidas por capim-gordura possuem maior disponibilidade e ciclagem de N no solo do que as áreas não invadidas de cerrado sentido restrito. Para isso foi determinado a taxa de decomposição (k) de cada espécie, o $\delta^{13}\text{C}$ das gramíneas nativas, exótica e de cerrado sentido restrito para verificar a contribuição de cada grupo na matéria orgânica do solo; o $\delta^{15}\text{N}$ dos solos sob cada grupo para montar a paisagem isotópica (*isoscapes*) e analisar a distribuição espacial e temporal da dinâmica de N; e a concentração de N-NH_4^+ e N-NO_3^- , taxas líquidas de mineralização de nitrogênio e nitrificação no solo para verificar o impacto do capim-gordura no ciclo do nitrogênio em curto prazo. Capim-gordura (0,75/ano) e gramíneas nativas (0,77/ano), apresentaram taxa de decomposição (k) semelhantes e maiores do que a taxa de decomposição de cerrado sentido restrito (0,40/ano). O $\delta^{15}\text{N}$ foi maior em solo sob capim-gordura (6,06‰), assim como a discriminação isotópica (7,8‰), indicando uma maior ciclagem de nitrogênio em solo sob capim-gordura do que sob cerrado sentido restrito e gramíneas nativas. Na matéria orgânica do solo (0-10 cm de profundidade) de cerrado sentido restrito, 59% é composta de fonte C4 e 41% de fonte C3, em gramíneas nativas 60,64% corresponde a fonte C4 e 39,4% a fonte C3

e no capim-gordura 66,8% corresponde a fonte C4 e 33,2% a fonte C3. Não foi encontrada diferença significativa para concentração de nitrato e amônio, taxas de mineralização e nitrificação líquida de N e razão $N-NH_4^+ / N-NO_3^-$ entre capim-gordura e os demais tratamentos. Os dados encontrados nesse trabalho corroboram com a hipótese inicial de que áreas de Cerrado invadidas por capim-gordura possuem maior disponibilidade e ciclagem de N no solo do que áreas não invadidas de cerrado sentido restrito dominado pelo estrato arbustivo/arbóreo e gramíneas nativas.

Palavras-chave: cerrado sentido restrito, capim-gordura, nitrogênio, isótopos estáveis, paisagem isotópica

ABSTRACT

RODOVALHO, N.L. **Molasses grass effect (*Melinis minutiflora*) on nitrogen dynamics in cerrado *stricto sensu* fragment surrounded by agricultural matrix.** 2016. 79p. Master dissertation. University of Brasília, Brasília, 2016.

The invasion by exotic grasses in Cerrado is closely linked to the conversion of the native landscape in agriculture and pasture areas. Among them, the molasses grass is known as a major invasive species in the Cerrado. In the Cerrado, the molasses grass can: change the native biomass, community microorganisms, provide more nutrients to the soil, have a higher efficiency in nitrogen use than native grasses and to adapt to fire conditions. This exotic grass can change the species composition, community structure and main functions of natural ecosystems. This study aimed to analyze the impact of grass (*Melinis minutiflora*) in the dynamics of N in a cerrado *stricto sensu* fragment surrounded by agricultural matrix. The following hypothesis was tested: cerrado *stricto sensu* areas invaded by molasses grass have higher availability and cycling of N in the soil than not invaded cerrado *stricto sensu* areas. For it was determined the decomposition rate (k) of each species, the $\delta^{13}\text{C}$ of native grasses, exotic and cerrado *stricto sensu* to check the contribution of each group in the soil organic matter ; the soil $\delta^{15}\text{N}$ under each group to assemble the isotopic landscape (*isoscapes*) and analyze the spatial distribution and temporal dynamics of N; and the concentration of N-NH_4^+ and N-NO_3^- , net rates of nitrogen mineralization and nitrification in the soil to check the impact of molasses grass in the nitrogen cycle in the short term . Molasses grass (0.75/year) and native grasses (0.77/year) showed decomposition rate (k) similar to and larger than the cerrado *stricto sensu* decomposition rate (0.40/year). The $\delta^{15}\text{N}$ was significantly higher in soil under molasses grass (6.06‰), as well as isotopic discrimination (7.8‰), indicating a higher nitrogen cycling in soil under molasses grass than under cerrado *stricto sensu* and grasses native. In soil organic matter (0-10 cm deep) cerrado *stricto sensu*, 59% is made up of C4 source and 41% of C3 source, in native grasses 60.64% corresponds to C4 source and 39.4% C3 source and molasses grass 66.8% corresponds to C4 source and 33.2% C3 source. There was no significant difference in concentration of nitrate and ammonium, net mineralization rates and net nitrification rates and N ratio $\text{NH}_4^+\text{-N} / \text{NO}_3^-\text{-N}$ from molasses grass and other

treatments. The data found in this study corroborate the initial hypothesis that cerrado *stricto sensu* areas invaded by molasses grass have higher availability and cycling of N in the soil than areas not invaded dominated by shrub / tree and native grasses.

Keywords: Cerrado *stricto sensu*, molasses grass, nitrogen, stable isotopes, isoscapes

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado, segundo maior bioma brasileiro, está localizado na região centro-oeste do país e segundo Myers *et al.* (2000) é considerado um “hotspot” mundial de biodiversidade devido ao alto grau de endemismo associado a uma grande perda de habitats. Em decorrência do seu potencial hídrico e de seus terrenos dominantes planos sofre com a expansão agropecuária em grandes áreas. Essa atividade antrópica altera a paisagem original e causa o isolamento e a redução de áreas remanescentes nativas que se tornam vizinhas de áreas abertas, desencadeando o processo de fragmentação (KAPOS *et al.*, 1997).

Os fragmentos de vegetação nativa, se dispõem em locais diferentes na paisagem e em diferentes tipos de solos, possuem diferentes tipos de vegetação e variam no seu tamanho, forma, isolamento e condições de entorno (matriz). Sabe-se que a supressão da vegetação influencia a manutenção e perda de habitats, porém os efeitos oriundos das pressões externas em processos chave como a ciclagem de nutrientes, ainda são pouco compreendidos em fragmentos de Cerrado.

Como consequência das atividades antrópicas o Cerrado sofre com a invasão de gramíneas exóticas. Essa invasão está ligada à conversão da paisagem nativa em áreas de agricultura e pastagem. Inicialmente, as pastagens eram extensivas e baseadas nas espécies nativas, que ao longo do tempo foram substituídas por espécies exóticas devido a sua maior produtividade (BARBOSA, 2009). Sabe-se que gramíneas exóticas se estabelecem em áreas antropizadas assim como possuem a capacidade de invadir áreas nativas (FILGUEIRAS *et al.* 1990, MARTINS *et al.* 2004, PIVELLO *et al.* 1999a). Pivello *et al.* (1999a; 1999b) acreditam que o processo de invasão de áreas nativas de Cerrado se inicia pelas bordas, primeiramente em locais perturbados e depois se espalhando por toda a área.

Espécies invasoras e espécies nativas geralmente apresentam diferentes características funcionais (VAN KLEUNEN; RICHARDSON, 2007; BRADSHAW *et al.*, 2008) e, ao contrário das espécies nativas, muitas espécies invasoras crescem rapidamente em condições ricas de nutrientes, especialmente de nitrogênio, e suas propagações podem ser estimuladas por essa condição (BARUCH, 1996). Em solos de Cerrado condições de acréscimo de nutriente favorece o capim-gordura em detrimento das espécies nativas (Lannes *et al.* 2012).

O nitrogênio juntamente com o fósforo constitui um dos maiores limitantes da produtividade primária de um ecossistema sendo que alterações na ciclagem desses elementos causam impacto direto sobre a manutenção da biodiversidade do Cerrado (BUSTAMANTE *et al.*, 2012; BUSTAMANTE; NARDOTO; JACOBSON, 2011). Em experimento de adição de nutrientes nesse bioma constatou-se que a adição conjunta de N e P acarreta num aumento na produção foliar e na qualidade nutricional da serapilheira, aumentando sua taxa de decomposição (JACOBSON, 2009), podendo descaracterizar o processo natural do cerrado. Segundo Harpole (2006) e Gonzáles *et al.* (2010) a disponibilidade de nutrientes pode ser reconhecida como um potencial fator de controle de espécies invasoras. Existem evidências que plantas invasoras em solos tropicais são colimitadas por nitrogênio e fósforo (BARGER *et al.*, 2003; BUSTAMANTE *et al.*, 2012)

O capim-gordura é conhecido como uma das principais espécies invasoras do Cerrado (FILGUEIRAS, 1990; PIVELLO *et al.*, 1999 a; MARTINS *et al.*, 2004) e pode alterar a biomassa da área que invade. Segundo MARTINS *et al.* (2004) ele é capaz de formar uma grande biomassa quando comparada as espécies nativas de cerrado. Rossi *et al.* (2009) constataram que em área de cerrado campestre o capim-gordura aumentou a biomassa total do local em até 2,4 vezes e foi responsável por uma redução significativa na biomassa da vegetação campestre nativa. Entretanto ao comparar *Melinis minutiflora* e *Echinolaena inflexa*, gramínea nativa de cerrado, em uma unidade de conservação, Souza *et al.* (2010) encontraram valores semelhantes de biomassa produzida anualmente entre as duas espécies, apresentando diferença apenas na área de borda da reserva, principalmente nos meses de janeiro e julho onde capim-gordura apresentou um pico de produção, o que foi associado a seu comportamento reprodutivo. Ao alterar o teor de biomassa de um ambiente pode-se gerar, em contrapartida, alterações na disponibilidade de nutrientes do local, já que a decomposição da serapilheira da vegetação possui papel fundamental na disponibilidade de nutrientes no solo (SWIFT *et al.*, 1999).

Melinis minutiflora apresenta uma dinâmica de nitrogênio diferente das gramíneas nativas (ASNER; BEATTY, 1996; LANNES *et al.* 2012). Segundo Asner e Beatty (1996) em estudo realizado em região arbustiva do Havaí invadida por capim-gordura, tanto em épocas de chuva como em épocas de seca as áreas invadidas possuem uma disponibilidade de nitrogênio significativamente maior do que as áreas nativas. Na Venezuela essa gramínea apresentou uma alta demanda no uso de

nitrogênio (BARUCH *et al.*, 1985; BARUCH *et al.*, 1996) e no Cerrado brasileiro apresentou adaptações para lidar com a baixa disponibilidade desse elemento, se beneficiando mais do que as espécies nativas nessas circunstâncias e produzindo mais biomassa por unidade de nitrogênio adquirida (LANNES *et al.*, 2012). Em áreas de floresta do Havaí o capim-gordura alterou a ciclagem de nitrogênio das áreas invadidas, acelerando esse processo em 3,4 vezes quando comparado com as áreas de vegetação nativa (MACK; D'ANTONIO, 2003).

Para analisar o impacto de uma espécie invasora no ciclo de nitrogênio em um ecossistema é necessário verificar a dinâmica desse elemento em compartimentos-chave como solo e vegetação. Através da análise da abundância natural dos isótopos estáveis de nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) no solo é possível verificar medidas integradas da dinâmica de desse elemento ao longo do tempo (CRAINE *et al.*, 2015) e através da concentração de amônio e nitrato e de taxas líquidas de mineralização e nitrificação de N no solo, é possível verificar o funcionamento dessa dinâmica em um curto período (ASNER; BEATTY, 1996; NARDOTO; BUSTAMANTE, 2003; MACK; D'ANTONIO, 2003). Considerando esse cenário é importante entender como a fragmentação do Cerrado e a invasão biológica do capim-gordura interferem na dinâmica de nitrogênio no solo de um fragmento de cerrado sentido restrito.

2. HIPÓTESE

Áreas de Cerrado invadidas por capim-gordura possuem maior disponibilidade e ciclagem de N no solo do que as áreas não invadidas de cerrado sentido restrito dominado pelo estrato arbustivo/arbóreo e gramíneas nativas.

3. OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito do capim gordura na disponibilidade e ciclagem de N no solo em fragmento de cerrado sentido restrito estabelecido a mais de três décadas circundado por matriz agrícola localizado em uma região de chapada da bacia do Pipiripau, Alto São Bartolomeu, Brasil Central.

4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a abundância natural dos isótopos estáveis do C ($\delta^{13}\text{C}$) das gramíneas nativas e exótica para avaliar a que grupo fotossintético, C3 ou C4, pertencem;
- Analisar a abundância natural dos isótopos estáveis do N ($\delta^{15}\text{N}$) no solo sob gramíneas nativas, sob capim-gordura e sob cerrado sentido restrito para verificar a dinâmica de nitrogênio a longo prazo;
- Analisar a abundância natural dos isótopos estáveis do C ($\delta^{13}\text{C}$) no solo sob gramíneas nativas e sob capim gordura para identificar a origem da matéria orgânica;
- Analisar a concentração de NH_4^+ e NO_3^- , taxas líquidas de mineralização de nitrogênio e nitrificação no solo sob gramíneas nativa, sob capim gordura e sob cerrado sentido restrito para verificar o impacto do capim-gordura no ciclo do nitrogênio em curto prazo;
- Montar a paisagem isotópica a fim de verificar a distribuição espacial e temporal da dinâmica do nitrogênio em solos de um fragmento invadido por capim-gordura.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 Invasão Biológica

Considera-se invasão biológica o estabelecimento de espécies animais ou vegetais, oriundas de outras regiões, em ecossistemas naturais e seu posterior alastramento, de forma que passam a dominar o ambiente, prejudicando as espécies naturais e o funcionamento do ecossistema (PIVELLO, 2011).

O comportamento (estabelecimento, naturalização e expansão) das espécies invasoras é responsável por grandes mudanças na composição das espécies, estrutura das comunidades e nas principais funções dos ecossistemas naturais (MACDONALD, 1988; VITOUSEK *et al.* 1997; D'ANTONIO; MEYERSON, 2002; MARTINS *et al.*, 2004; PANETTA; TIMMINS, 2004), isso em virtude da agressividade, pressão e possibilidade de excluir as espécies nativas, seja diretamente, seja através da competição por recursos. Esse processo representa

uma grande ameaça para a manutenção da diversidade biológica (BOSSARD, *et al.* 2000).

A invasão biológica por plantas exóticas pode afetar a composição da comunidade microbiana do solo (HAWKES *et al.*, 2005; SILVA, 2012), podendo alterar o ciclo de nutrientes dos ecossistemas. Em estudo realizado em pastagens da Califórnia invadidas por gramíneas exóticas, o ciclo do nitrogênio apresentou significativas alterações como mudança na abundância e na composição de bactérias oxidantes de amônia do solo, fazendo com que a taxa bruta de nitrificação dobrasse (HAWKES *et al.*, 2005).

O sucesso da invasão biológica por plantas depende do tipo de manejo aplicado na área, tendo em vista que em locais não perturbados as espécies invasoras parecem não deslocar as espécies nativas (FRANÇA *et al.*, 2007). Barger *et al.* (2003) ao estudarem o processo de crescimento da gramínea invasora *Melinis minutiflora* (capim-gordura) em uma savana venezuelana, verificaram que, em condições naturais, o solo oligotrófico e as espécies nativas são importantes para evitar o estabelecimento da gramínea invasora nas savanas, contudo constataram que quando há alterações nas características do solo o potencial de crescimento de *Melinis minutiflora* aumenta significativamente. No Cerrado, a invasão por plantas está bastante ligada à conversão da paisagem nativa em pastagens a que foi submetido ao longo das últimas décadas.

O bioma Cerrado é formado por três fisionomias, a campestre (campo limpo de Cerrado), a savânica (campo sujo de Cerrado, campo Cerrado e cerrado sentido restrito) e a florestal (cerradão) (COUTINHO, 1978; COUTINHO, 2006). As fisionomias abertas de Cerrado são compostas principalmente por gramíneas, cuja vocação utilitária sempre foi voltada à pecuária e desde o advento da expansão agrícola, vem sofrendo os efeitos da invasão biológica de gramíneas africanas, dentre elas o *Melinis minutiflora* vulgo capim-gordura. Segundo levantamento realizado por Rodovalho e Nardoto (2012) são diversas as temáticas trabalhadas com essa gramínea em território brasileiro, dentre elas biologia e ecologia da espécie, forragem, manejo e invasão biológica, sendo que cada região brasileira aborda o capim-gordura de forma diferente, vinculada a sua área de interesse. Apesar da sua agressividade e do seu potencial de invasão, estudos abordando essa gramínea como problema para a vegetação natural só começaram a serem mais intensos a partir dos anos 2000 (RODOVALHO; NARDOTO, 2012), o que torna

necessário mais pesquisas que visem as consequências da invasão do capim-gordura nas dinâmicas dos biomas brasileiros como um todo.

5.2 Fragmentação no Cerrado

No Cerrado, o processo de fragmentação está intimamente ligado ao processo de ocupação desse Bioma. No início, nas décadas de 1940 e 1950, esse processo estava relacionado a ocupação da área central do Brasil, devido a implantação de colônias agrícolas nos estados de Goiás e Mato Grosso (KLINK & MOREIRA, 2002; SHIKI, 1997; GUIMARÃES & LEME, 2002) e a construção da nova capital Brasília (SANTOS *et al.*, 2010). Esse processo de fragmentação foi bastante observado a partir da década de 1970 onde os avanços das tecnologias de plantio juntamente com as características físicas dos solos desse bioma possibilitaram implantar uma agricultura moderna, altamente competitiva e voltada para a produção de commodities agrícolas (SALIM, 1986; FRANÇA, 1984).

A expansão agrícola e pecuária juntamente com a ocupação humana (processo de urbanização) são as principais causas de fragmentação da vegetação nativa de Cerrado. Segundo MMA/SBF (2003), a biota natural do Cerrado vem se transformando em uma paisagem cada vez mais fragmentada composta por ilhas inseridas numa matriz de agroecossistemas. Através de uma análise multitemporal da cobertura do solo na região centro-oeste brasileira, foi possível identificar que a cobertura vegetal natural diminuiu de 90% para 24%, no período de 1966 a 2001, sendo substituída principalmente por áreas de agricultura e pastagem (GAMARRA, *et al.* 2016).

Fatores como histórico de perturbação, matriz antrópica, forma, área e o grau de isolamento modificam a estrutura e os processos biológicos de um fragmento (VIANA; TABANEZ, 1996; SHELHAS; GREENBERG, 1997). Segundo Carvalho, Júnior e Ferreira (2009), em cerrado, áreas utilizadas para atividades agrícolas possuem um maior grau de fragmentação do que as áreas de pastagens, em contrapartida os fragmentos contidos em áreas de pastagens são mais irregulares, comprovando assim a influência da matriz no processo de fragmentação.

Estudos realizados com fragmentação florestal indicam que são consequências desse processo: mudança no tamanho e na dinâmica das populações, comunidades, nas interações tróficas e nos processos ecossistêmicos

(LAURANCE; VASCONCELOS, 2009). A fragmentação florestal pode afetar de diversas formas os processos ecossistêmicos, entre elas: alterar o estoque de carbono (LAURANCE *et al.*, 2000) através da perda substancial de biomassa viva, pelas quedas das árvores (LAURANCE *et al.*, 1998); alterar a ciclagem do carbono, pois em florestas fragmentadas as árvores típicas são substituídas por espécies pioneiras de crescimento rápido e baixa longevidade (LAURANCE *et al.*, 2006; MICHALSKI *et al.*, 2007) podendo acarretar em aumento do *turnover* do carbono (LAURANCE;VASCONCELOS, 2009); alterar a dinâmica de ciclagem da serapilheira devido ao aumento de plantas pioneiras (DIDHAM, 1998; VASCONCELOS; LAURANCE, 2005).

Apesar das consequências de o processo de fragmentação estarem bem consolidadas para o ambiente florestal, ainda existem lacunas para o ambiente de savanas tropicais (CARMO, 2006), contudo Carmo, Vasconcelos e Araújo (2011), confirmam a hipótese de que a perda da área e o aumento da perturbação afetam a estrutura da vegetação de cerrado, levando a um empobrecimento desta vegetação e acarretando mudanças na sua composição. Eles também sugerem que os fragmentos menores não estão sujeitos somente aos efeitos da fragmentação dos habitats (i.e., perda de área, efeito de borda, isolamento) mas também estão sujeitos à ação do fogo, gado e da invasão por gramíneas exóticas.

Apesar da escassez de informações sobre a fragmentação em cerrado sentido restrito, Carmo (2006) concluiu que quanto maior é o fragmento de cerrado maior é a riqueza de espécies arbustivo-arbóreas e que espécies zoocóricas (aquelas que não são dispersas pelo vento) parecem ser mais prejudicadas pelo grau de isolamento dos fragmentos, corroborando com outros estudos realizados em cerrado e mata (METZGER *et.al.*, 1997; TABARELLI *et al.*1999).

5.3 Capim-gordura - *Melinis minutiflora* P. Beauv.

Melinis minutiflora mais conhecido como capim-gordura, pertence à família Poaceae (Gramineae) e é originária do leste da África (BOGDAN, 1977). Também é reconhecido como capim-meloso, capim-catingueiro, capim-melado, capim-gordo, capim-de-frei-luiz (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1943; OLIVEIRA, 1974; LORENZI, 1991). De acordo com a revisão feita por Oliveira (1974), a espécie *Melinis minutiflora* é classificada como: Angiosperma (divisão), Monocotyledoneae

(classe), Graminales (Poales) (ordem), Gramínea (Poaceae) (família), Panicoideae (subfamília), Melinideae (tribo) e *Melinis* (gênero). A primeira classificação ao nível de espécie, que esta gramínea recebeu, foi de Palisot de Beauvois, em 1882, como *Melinis minutiflora*. Oliveira (1974) constatou os seguintes sinônimos para a espécie: *Suardia picta* Schrank (1819); *Tristegis glutinosa* Nees (1820); *Panicum minutiflorum* (P. Beauv.) (1825); *Panicum melinis* Trin (1834); *Muelenbergia brasiliensis* Steud (1854).

De acordo com revisões conduzidas por Bogdan (1977); Miditieri, (1983); Skerman e Rivers (1992), o capim-gordura apresenta as seguintes características gerais e adaptações ambientais: planta perene, herbácea, mecanismo fotossintético C4, apresenta altura média entre 0,4 e 0,6 m, podendo chegar até a 1,6 m ou mais. Os pelos glandulares da folhagem liberam um óleo de cheiro característico. Essa gramínea apresenta inflorescência do tipo panícula terminal (estreita) de 10 a 30 cm de comprimento, arroxeadas, ramificações curtas. Sua floração ocorre entre 166 a 202 dias depois de semeadura, dependendo da variedade. Possuem sementes com alto poder de germinação e quase nenhuma dormência. São sementes muito pequenas, variando de 1,5 a 2,5 mm de comprimento e são produzidas em grande quantidade (200-280 kg/ha). As sementes apresentam cor arroxeadas. Possui dois inimigos naturais que comprometem seu desenvolvimento, o vírus da doença atrofiadora (*Stunting Virus Disease*) (BOGDAN, 1977) e o fungo que ataca as inflorescências provocando abortamento das espiguetas (FILGUEIRAS, 1990).

O capim-gordura é mais limitado pelas baixas temperaturas do que pela qualidade do solo. Desenvolvendo-se melhor em altitudes entre 200 e 2.300 m, com temperaturas entre 18° e 27°C. É pouco exigente em fertilidade, se desenvolvendo bem em solos ácidos, mas não se adapta bem em solos pesados e muitos argilosos (OLIVEIRA, 1974; CURADO; COSTA, 1980). Segundo Costa (2007), a distribuição de *Melinis minutiflora* predomina em áreas de solos bem drenados (latossolos) enquanto em áreas mais úmidas (gleisolos) a ocorrência deste tende a ser menos expressiva. Segundo Saraiva *et al.* (1993) o nutriente mais limitante para o crescimento do capim-gordura é o fósforo, sendo que Carvalho *et al.* (1993) observaram um aumento significativo do crescimento da parte aérea e das raízes de capim-gordura com doses crescentes de fósforo. Cálcio é o segundo nutriente mais limitante para o crescimento dessa gramínea (SARAIVA *et al.*, 1993).

Existem três teorias a respeito da introdução dessa gramínea no Brasil. Existe a que diz que os capins africanos podem ter sido introduzidos, em algum momento do século XVIII, na região da Mata Atlântica, a partir das camas de palha dos navios que carregavam os escravos (FILGUEIRAS, 1990). Já Morosini e Klink (1997) afirmam que o capim-gordura chegou ao Brasil através de programas agropecuários e de substituição de pastagens. Essa teoria é ilustrada na década de 1940, onde dentre as forragens que formavam as pastagens naturais e artificiais da região dos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo e Espírito Santo, inegavelmente, a mais conhecida e utilizada era o capim-gordura (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1943). Existem também, os que acreditam que essa gramínea foi introduzida no Brasil acidentalmente ou para fins comerciais (EITEN; GOODLAND, 1979; BARUCH *et al.*, 1985; PIVELLO *et al.*, 1999a, 1999b). Por outro lado, Parsons (1972), afirma que sua introdução é desconhecida fato este que ocorreu há muito tempo atrás.

5.4 Dinâmica de N em áreas de Cerrado invadida por capim-gordura

No Cerrado brasileiro, de acordo com Silva (2012) *Melinis minutiflora* disponibiliza mais nutrientes para o solo, alterando a comunidade de microrganismos do solo rizosférico e diminuindo a diversidade microbiana em áreas de invasão quando comparadas com áreas de gramínea nativa *Echinochaena inflexa* (capim-fleinha). Já Silva e Haridasan (2007) não encontraram diferença ao compararem a disponibilidade de nutrientes no solo entre gramíneas nativas do Cerrado e a invasora *Melinis minutiflora*, não evidenciando que o capim-gordura modifica as características do solo. Também não encontraram diferença na concentração de nutrientes na biomassa viva entre as gramíneas nativas e a invasora.

A adição de nutrientes pode alterar a diversidade/produção do estrato herbáceo-arbustivo do Cerrado (BUSTAMANTE *et al.*, 2012). No caso do capim-gordura a adição de nutrientes, fósforo e nitrogênio, favorece sua invasão o que traz prejuízos as espécies de gramíneas nativas (BUSTAMANTE *et al.*, 2012). Lannes *et al.* (2012) observaram que em contradição as gramíneas nativas de Cerrado, o capim-gordura ocorre em locais de média a alta biomassa e baixa razão N:P, o que demonstra que o *Melinis minutiflora* tem alta e maior eficiência no uso do nitrogênio

do que as gramíneas nativas C₄ (BARUCH *et al.*, 1985; BARUCH, 1996, LANNES *et al.*, 2012).

Em relação as queimadas que ocorrem no Cerrado, sabe-se que o *Melinis minutiflora* é adaptado a essa condição e domina esses ambientes (HUGHES; VITOUSEK, 1993; D'ANTONIO *et al.*, 2001; SILVA; BATALHA, 2008; LANNES *et al.* 2012). Em condições pós-fogo apresenta maiores taxas de germinação do que as gramíneas nativas e significativa redução no tempo de germinação de suas sementes, que aliadas a característica de alta produção de sementes viáveis podem reforçar sua dominância em áreas de queimadas (MUSSO *et al.* 2015).

5.5 Dinâmica de Nitrogênio em solo de Cerrado

O nitrogênio (N) presente no solo entra no sistema através da fixação biológica (FBN), simbiótica e assimbiótica, contudo em ecossistemas naturais a maior parte do nitrogênio absorvido pelas plantas vem da decomposição da matéria orgânica, seja através do N orgânico dissolvido seja pela mineralização do N (CHAPIN, 2011). Fatores como quantidade de matéria orgânica e taxa de decomposição são preponderantes para a mineralização do N, que consiste nas reações de amonificação e nitrificação realizadas pelos microrganismos do solo (CHAPIN, 2011). A amonificação é o processo de produção de amônia (NH₃⁺) e amônio (NH₄⁺) a partir do N orgânico dissolvido no solo oriundo da decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos. A nitrificação consiste na produção de nitrito (NO₂⁻) e nitrato (NO₃⁻) através da NH₃⁺ e do NH₄⁺ presentes no solo. Processo contrário à mineralização é a imobilização biológica que converte os íons de nitrogênio inorgânico em formas orgânicas. O processo de mineralização e imobilização ocorrem simultaneamente no solo e dependem, principalmente, da relação C/N dos resíduos orgânicos que estão sendo decompostos, tendo como resultado o aumento ou a diminuição do N mineral disponível no solo (BRADY; WEIL, 2013).

Segundo Cleveland *et al.* (1999) a fixação biológica constitui uma importante fonte de nitrogênio no Cerrado, contribuindo com uma taxa de 16-44 kg N ha⁻¹ ano⁻¹. O Cerrado é considerado um sistema que possui baixa disponibilidade de nitrogênio, assim como outros biomas de savana (OLIVA *et al.* 1993; HIBBARD *et al.* 2003; MAZZARINO *et al.* 1991), sendo que essa disponibilidade varia de acordo com a

densidade de plantas lenhosas, com a frequência do fogo, com as mudanças no uso da terra, com as taxas de deposição e fixação de N (BUSTAMANTE, 2006) e com a fertilidade e a disponibilidade de água no solo (BUSTAMANTE; NARDOTO; MARTINELLI, 2004).

No Cerrado a ciclagem biogeoquímica se altera de acordo com a sazonalidade da chuva. Na estação chuvosa, ocorre maiores taxas de mineralização de N e nitrificação na camada superficial do solo (0-5 cm), sendo que a produção de N-NH_4^+ está em torno de $6,7 \text{ mg kg}^{-1}$ e a de nitrato varia entre 1,5 e $2,8 \text{ mg kg}^{-1}$. Contudo as concentrações de N-inorgânico do solo diminuem durante essa estação indicando que nesse período as plantas absorvem o produto oriundo da mineralização ao invés de utilizar os estoques de N do solo (NARDOTO; BUSTAMANTE, 2003). Em solos de Cerrado há uma baixa produção de N-NO_3^- apesar de ocorrer uma significativante produção de N-NH_4^+ , características típicas de sistemas que possuem baixa disponibilidade de nitrogênio (DAVIDSON; BUSTAMANTE; PINTO, 2001). Bustamante e colaboradores (2006) indicam que isso pode ocorrer devido a competição entre plantas e microrganismos por amônio. Esse mesmo padrão foi encontrado em regiões de clima semiárido nas regiões do Chaco Argentino (OLIVA *et al.*, 1993).

Queimadas são características em áreas de Cerrado brasileiro. Esse processo, seja de causa natural ou antrópica, influencia na disponibilidade de N inorgânico do sistema devido à baixa temperatura de volatilização desse elemento. Nardoto e Bustamante (2003) encontraram em cerrado sentido restrito uma quantidade de N inorgânico disponível de $14,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ enquanto em área submetida a queimadas frequentes essa taxa foi bem menor, $3,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, um ano após a queima. Em áreas de campo sujo essas taxas foram diferentes, $6,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em áreas que não sofreram queimadas e de $3,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em áreas queimadas (SIQUEIRA, 2001), mostrando que independente da área sofrer queimada ou não as taxas de mineralização são influenciadas pela densidade lenhosa, sendo menor em áreas de campo sujo.

Segundo Júnior *et al.* (2011) a conversão de um cerradão em diferentes usos (plantio direto, pastagem, plantio convencional) trouxe mudanças negativas nos teores de nitrogênio total nas camadas mais superficiais do solo (0-5 e 5-10 cm). Os valores variaram de 0,76 a $2,45 \text{ g kg}^{-1}$, sendo maior sob área de cerradão, intermediário em plantio direto e inferior nas áreas de pastagem e plantio

convencional. No Cerrado a intensa prática agrícola também contribui para a alteração do ciclo do nitrogênio com o uso de fertilizantes nitrogenados e o cultivo de leguminosas. Em estudo realizado por Jacobson (2009) com o objetivo de verificar como o aumento na disponibilidade de nutrientes afeta uma área de cerrado sentido restrito foi observado que a fertilização altera os processos de ciclagem de nutrientes acelerando a decomposição da serapilheira que pode possuir maior qualidade nutricional. O aumento na disponibilidade de nutrientes altera a riqueza de espécies e conseqüentemente a diversidade do Cerrado, sendo que esses efeitos são mais intensos quando existe um aumento na disponibilidade de Ca, Mg e N (JACOBSON, 2009). Esse aumento na disponibilidade de nutrientes também pode estimular o aumento da biomassa microbiana no solo (Silva, 2012).

A adição somente de P ou em combinação com N pode favorecer o estabelecimento de *Melinis minutiflora* (BUSTAMANTE *et al.*, 2012, LANNES *et al.*, 2015), sendo que sob essas condições essa espécie também apresenta maior biomassa acima do solo do que as gramíneas nativas (JACOBSON, 2009; BUSTAMANTE *et al.*, 2012). Segundo Lannes *et al.* (2015), gramíneas nativas de Cerrado e espécies invasoras C4 (*Melinis minutiflora*, *Urochloa decumbens*) parecem ser limitadas por diferentes nutrientes, o que deve ser considerado na gestão de comunidades naturais e invadidas.

5.6 Razão isotópica de Nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$), Carbono ($\delta^{13}\text{C}$)

5.6.1. Razão isotópica de Nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$)

Estudos ambientais vêm utilizando isótopos estáveis pelo fato de que a composição isotópica varia de forma previsível, conforme o elemento se move entre os compartimentos do ecossistema (MARTINELLI *et al.*, 2009).

A abundância natural dos isótopos estáveis de N ($\delta^{15}\text{N}$) tem o potencial de revelar padrões temporais e espaciais do ciclo do nitrogênio em algum compartimento (HÖGBERG, 1997; ROBINSON, 2001; COLLETA *et al.*, 2009) e revelar como distúrbios alteram essa dinâmica (CRAINE *et al.*, 2009), podendo ser utilizado para expressar padrões globais (CRAINE *et al.*, 2009; CRAINE *et al.*, 2015), regionais (NARDOTO *et al.*, 2008), ou locais (NARDOTO, 2005; RASCHER *et al.*, 2012), da dinâmica do nitrogênio. Essa ferramenta consegue integrar a dinâmica de

nitrogênio em compartimento chaves como vegetação e solo (HÖGBERG, 1997; ROBINSON, 2001; AMUNDSON *et al.*, 2003; HOULTON *et al.*, 2006, 2007).

O $\delta^{15}\text{N}$ representa a proporção de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ em um compartimento do sistema em relação ao padrão fixado internacionalmente, o N_2 atmosférico, em desvios por mil (‰). A abundância natural dos isótopos estáveis de N em um sistema é determinada (1) pela assinatura isotópica da fonte de N ou da mistura de fontes, (2) pelo fracionamento do ^{15}N durante as reações de transformação de N no solo realizadas por microrganismos e (3) pelo fracionamento na planta, durante a absorção, assimilação e/ou translocação do N (DAWSON *et al.*, 2002; MARTINELLI *et al.*, 2009). O $\delta^{15}\text{N}$ reflete o fracionamento do isótopo pesado ^{15}N durante as reações de transformação de N no solo realizado por microrganismos. O $\delta^{15}\text{N}$ do N inorgânico do solo pode ser alterado por transformações como a mineralização e a nitrificação (CRAINE *et al.*, 2015). No caso, a oxidação do amônio (NH_4^+) em nitrato (NO_3^-) representa um processo de fracionamento onde o N- NH_4^+ fica relativamente enriquecido em ^{15}N , isótopo menos reagente e mais pesado, e o N- NO_3^- em ^{14}N , sendo o $\delta^{15}\text{N}$ do amônio maior que o do nitrato (ROBINSON, 2001). No fracionamento do N no solo, Craine *et al.* (2015) relatam que o N inorgânico produzido pela mineralização da matéria orgânica e pela nitrificação exibem $\delta^{15}\text{N}$ mais negativo que o solo.

Vários estudos com diferentes objetivos já foram realizados em sistemas tropicais de savanas utilizando essa metodologia, como: relação entre o clima e o $\delta^{15}\text{N}$ em plantas no sul da África (HEATON, 1987), abundância de ^{15}N em plantas lenhosas e solos de Cerrado brasileiro (BUSTAMANTE *et al.*, 2004), análise de como os processos de mudança na terra alteraram a dinâmica de um ecossistema australiano (COOK; DAWES-GROMADZKI, 2005), fatores controladores da dinâmica de nitrogênio em Cerrado (BUSTAMANTE; NARDOTO; JACOBSON, 2011), dinâmica do nitrogênio em áreas de Cerrado e Amazônia (NARDOTO, 2005), como fatores ambientais impactam os fatores biológicos em áreas de savanas australianas (SCHMIDT; STEWART, 2003) dentre outros.

Nos solos os processos de transformação do N orgânico nas diferentes formas de N inorgânico pelos microrganismos produzem formas de N com composição isotópica distinta (HÖGBERG, 1997) e a preferência das plantas em obter amônio ou nitrato influencia a composição isotópica de N da mesma. Segundo Picollo *et al.* (1996), Bustamante *et al.* (2004), Nardoto (2005) e Loss *et al.* (2014)

em solos de Cerrado ocorre um aumento nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ com o aumento da profundidade do solo, independentemente do tipo de vegetação presente em sua superfície. Esse mesmo padrão foi encontrado em uma pastagem semiárida da Califórnia, sendo que também foi encontrado um aumento do $\delta^{15}\text{N}$ com o aumento da idade do solo (BRENNER *et al.*, 2001). Ao comparar solos de cerrado e amazônico Nardoto (2005) encontrou uma maior variação no $\delta^{15}\text{N}$ (~4‰) ao longo dos 50 cm de profundidade em solos de cerrado.

Áreas de cerrado sentido restrito apresentam uma alta variabilidade no $\delta^{15}\text{N}$ das plantas (NARDOTO, 2005; BUSTAMANTE *et al.*, 2004). Bustamante e colaboradores (2004) atribuem essa alta variabilidade a fatores como associações micorrízicas, comuns em solos com baixa disponibilidade de nutrientes (REIS, 1999), variação do $\delta^{15}\text{N}$ de acordo com a profundidade do solo e ao efeito da sazonalidade nos processos de mineralização e imobilização líquida de N nos solos desse bioma. Em relação a associação micorrízica, Craine *et al.* (2015) constataram que as diferentes formas de fungos podem influenciar no valor do $\delta^{15}\text{N}$ foliar das plantas hospedeiras e que essa associação pode ser responsável por um terço da variação do valor do $\delta^{15}\text{N}$ foliar. Schmidt e Stewart (2003) observaram em região de savana australiana que o $\delta^{15}\text{N}$ foliar para espécies herbáceas com associação simbiótica foi menor, 0,1-0,2‰, do que para espécies sem associação simbiótica, 0,3-0,8‰. Esse mesmo padrão foi encontrado para espécies lenhosas.

Durante o processo de mineralização líquida do N da serapilheira há um declínio na concentração de N e um aumento no valor do $\delta^{15}\text{N}$ (CRAINE *et al.*, 2015). Ao comparar a serapilheira de duas áreas de cerrado sentido restrito, uma sem influência do fogo e outra com regime de queimadas, Nardoto (2005) constatou que o valor do $\delta^{15}\text{N}$ em áreas queimadas foi menor do que o valor da área sem queima, independente da sazonalidade. Na área que sofreu queimadas o $\delta^{15}\text{N}$ foliar das plantas leguminosas tiveram um valor médio maior do que o valor das plantas não-leguminosas, não sendo encontrada essa diferença na área sem queima.

Para a matéria orgânica, o valor do $\delta^{15}\text{N}$ pode sofrer um aumento ou um declínio durante o processo de decomposição. São fatores determinantes, o grau de decomposição da matéria orgânica e a disponibilidade de nutrientes desse substrato, sendo que o aumento do valor do $\delta^{15}\text{N}$ está associado a biomassa microbiana (decomposição e alteração) (CRAINE *et al.*, 2015).

5.6.2. Razão isotópica de carbono ($\delta^{13}\text{C}$)

Os valores de abundância natural de isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) permitem identificar o grupo funcional de cada espécie através do regime fotossintético, C3, C4, que cada uma exerce. O $\delta^{13}\text{C}$ das plantas do tipo C3 é menor (-24‰ a -38‰) (MARTINELLI *et al.*, 2009) do que o das plantas do tipo C4 (-11‰ a -15‰) (MARTINELLI *et al.*, 2009) pois existe uma menor discriminação isotópica dos átomos ^{13}C pelas plantas do tipo C4.

Plantas C3 e C4 possuem valores de $\delta^{13}\text{C}$ diferentes, sendo assim através do $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica do solo (MOS) pode-se estimar a contribuição de plantas C3 e C4 na matéria orgânica do solo (WILCKE; LILIENFEIN, 2004) e identificar a cobertura vegetal de uma área (BOUTTON *et al.*, 1998) sendo que o solo tende a ter uma composição isotópica similar à sua cobertura (MARTINELLI *et al.*, 2009). É possível também, identificar alterações na abundância de plantas C3 e C4 na vegetação nativa (GILLSON *et al.*, 2004), identificar o tipo de cobertura dominante do solo (MCCLARAN; UMLAUF, 2000), verificar o impacto de plantas invasoras no ciclo do carbono (CREIGHTON *et al.*, 2008), elaborar um plano de recuperação da vegetação nativa em áreas impactadas (BOUTTON *et al.*, 1998).

5.7 Razão C/N e decomposição da serapilheira

A serapilheira constitui um papel importante para o sistema solo-planta-solo através da regulação do fluxo de carbono e nutrientes entre esses compartimentos (ADUAN, 2003). A decomposição da serapilheira ocorre através de processos básicos como: lixiviação de minerais solúveis e de pequenos compostos orgânicos pela água, ruptura física dos detritos (intemperismo) e pela ação biológica, que consiste na fragmentação gradual e oxidação dos organismos vivos, principalmente fungos (MASON, 1977). Os principais aspectos que influenciam na decomposição da serapilheira são: o clima, a concentração de nutrientes da serapilheira, a razão C/N e a natureza e abundância de microrganismos decompositores (COUTEAUX *et al.*, 1995; KING *et al.*, 2002; KOUKOURA *et al.*, 2003), sendo que sua velocidade é influenciada principalmente pelos efeitos das condições de temperatura e umidade da camada superior do solo sobre a fauna edáfica. Em condições climáticas mais favoráveis à atividade microbiológica, o teor de lignina e de polifenóis ou a razão C/N

do detrito foliar pode ser o fator determinante na velocidade de sua decomposição (ANDERSON, 1992).

A razão C/N expressa a relação entre C e N do substrato. A quantidade e a qualidade da serapilheira que vai ser decomposta influenciam nas taxas de mineralização do N no solo. Valores elevados para C/N mostram domínio de compostos orgânicos não-nitrogenados sobre os nitrogenados, por outro lado baixas razões C/N foliar indicam alta qualidade do material vegetal produzido, possuindo provavelmente um papel importante na redistribuição de nitrogênio que será mineralizado e se tornará disponível novamente para a comunidade vegetal. Quanto maior a razão C/N, maior a necessidade dos microrganismos em absorverem o nitrogênio inorgânico necessários para seu crescimento e desenvolvimento da solução do solo, favorecendo assim o processo de imobilização do N e podendo diminuir o processo de decomposição. Com menor razão C/N os microrganismos excretam o excesso de N para o solo o que favorece a mineralização do N (CHAPIN, 2001; BRADY; WEIL, 2013).

Bustamante *et al.* (2006) atribuíram a alta razão C/N da serapilheira (60:1) a baixa taxa de decomposição e mineralização em áreas de Cerrado, que possui uma baixa disponibilidade de N. Asner e Beatty (1996) ao compararem *Melinis minutiflora* com duas espécies arbustivas nativas do Havaí (*Styphelia tameiameia* e *Dodonaea viscosa*) encontraram menores valores de C/N foliar, radicular e da serapilheira para *Melinis minutiflora*, associando a esses valores uma maior taxa de mineralização e de decomposição.

O estudo da taxa de decomposição juntamente com a razão C/N da serapilheira constitui, desta forma, uma ferramenta útil para obter informações sobre a origem e a decomposição da matéria orgânica.

5.8 ISOSCAPES (paisagem isotópica)

Sabe-se que a abundância natural de isótopos estáveis dos substratos ambientais é determinada pela dinâmica espacial e temporal dos processos químicos e biológicos (WEST *et al.*, 2008; BOWEN *et al.*, 2009). Segundo West *et al.* (2008) as variações na dinâmica espaço-temporal da abundância natural de isótopos estáveis contêm uma riqueza potencial de informações sobre os processos ecológicos. Sendo assim uma forma de quantificar e entender essas informações é

através da construção dos ISOSCAPES (RASCHER *et al.*, 2012) ou também conhecido Paisagem Isotópica.

Paisagens isotópicas são modelos que ilustram a abundância natural de isótopos estáveis através da distribuição espaço-temporal (WEST *et al.*, 2010) e utilizam para isso os dados de fracionamento isotópico e das condições ambientais de interesse ao longo do espaço e do tempo (BOWEN, 2010). Segundo Bowen (2010) se esse modelo é calculado utilizando a abundância natural de isótopos estáveis do material biológico, ele tem um potencial de marcador para os processos ecológicos responsáveis por essa variação.

Até o momento a aplicação das paisagens isotópicas tem ocorrido amplamente em escala continental ou global (HOBSON; BARNETT-JOHNSON; CERLING, 2010; EHLERINGER *et al.*, 2010; GRAHAM *et al.*, 2010). Apesar desse padrão de escala utilizado, essa estrutura tem se mostrado útil para traçar padrões espaciais em escalas locais, como mostrado por RASCHER *et al.* (2012) ao avaliarem o impacto de uma planta invasora na dinâmica de N em um ecossistema de dunas em Portugal. Rascher *et al.* (2012) utilizam a premissa que os processos de relações isotópicas variam sistematicamente a nível de comunidade e em decorrência disso, a paisagem isotópica é uma estrutura eficiente em mostrar esse padrão em maiores escalas.

Para a aplicação desse modelo é necessário obedecer um padrão de coleta baseado em grades, utilizar programas robustos de processamento de dados e métodos de interpolação estatístico para representação das informações dos dados isotópicos ao longo do espaço e do tempo (BOWEN, 2010).

Os processos ecológicos não necessariamente precisam ser especializados através de dados isotópicos, essa representação também pode ser feita através da interpolação de dados não isotópicos, como mostra Garbin *et al.* (2006) ao utilizar estatística espacial para mostrar a concentração de amônio e nitrato em regiões de gramíneas, floresta nativa e floresta plantada de Pinus no sul do Brasil. O diferencial da espacialização que utiliza a abundância natural de isótopos estáveis é a representação desses dados ao longo do tempo.

6. ÁREA DE ESTUDO

Para este estudo foi escolhido um fragmento de cerrado sentido restrito, circundado por matriz agrícola pertencente a uma propriedade rural particular localizada na região de chapada da bacia hidrográfica do Ribeirão Pipiripau que por sua vez faz parte da bacia do Rio São Bartolomeu (Figura 1). O fragmento foi escolhido baseado no mapa de cobertura da bacia elaborado por Neves *et. al.* (2015).

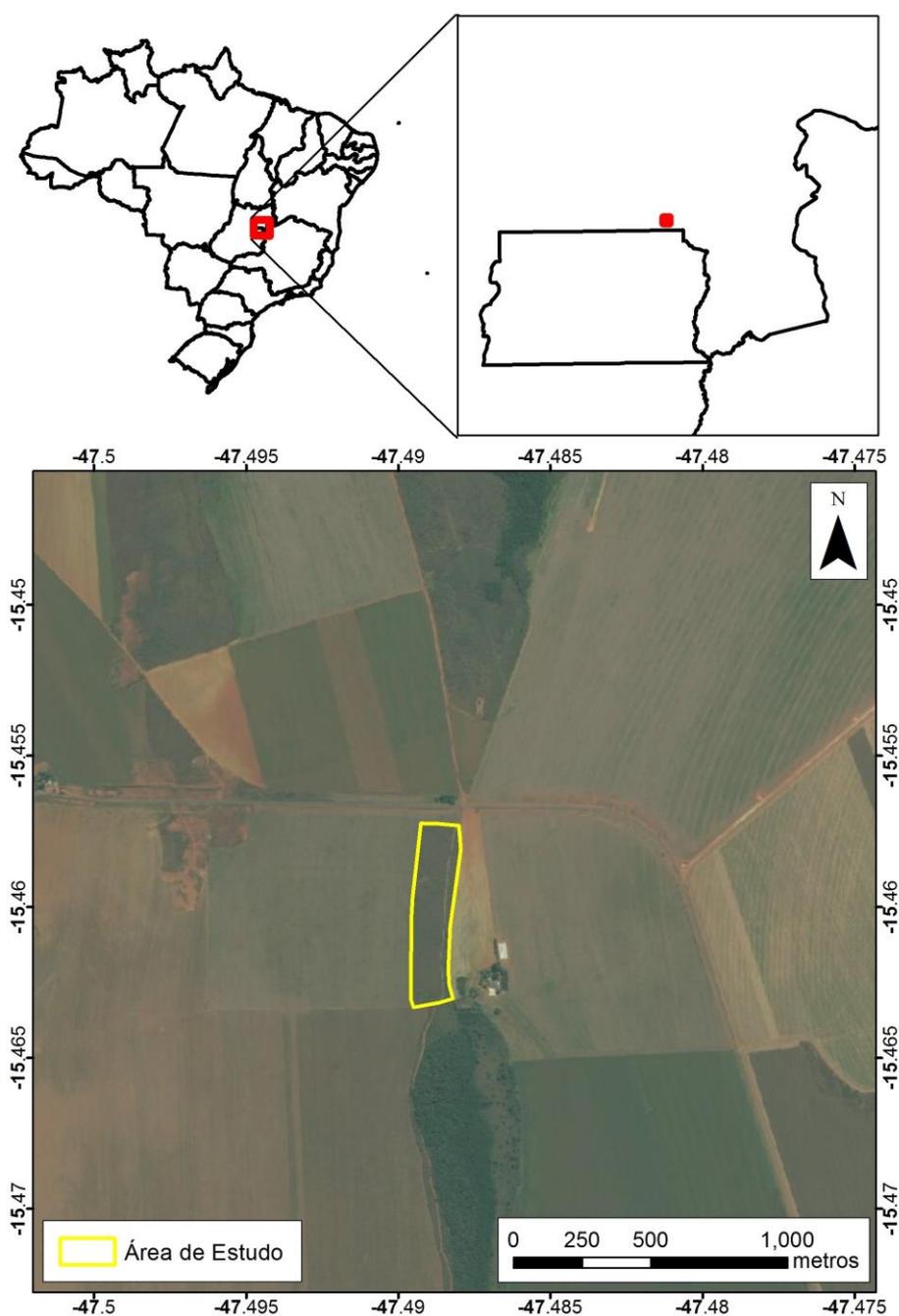


Figura 1. Fragmento escolhido para realização do estudo. Localizado na GO-430, km 1, município de Formosa-GO, coordenadas 232931,19 mE e 8289229,17 mS, pertencente a bacia hidrográfica do Ribeirão Pipiripau.

A bacia do Ribeirão Pípiripau está localizada na região nordeste do Distrito Federal, próximo a cidade de Planaltina limitada ao sul e norte pelas coordenadas UTM 213.601 E, 8.264.250 N e 235.913 E, 8.289.742 N, possui uma área total de 23.527 hectares. A bacia ocupa as regiões do Distrito Federal e de Goiás, sendo que a maior parte (90,3%) se localiza no Distrito Federal. Seus principais afluentes são os Córregos Maria Velha, Sítio Novo, Engenho, Taquara e Capão Grande (HGEO, 2001). A bacia totaliza 122 km de cursos d'água e a extensão total do seu leito principal é de 41 km da nascente à foz.

A bacia do Pípiripau está inserida na bacia do Rio São Bartolomeu que abrange uma área de aproximadamente 2670 km² no Distrito Federal e 2810 km² no estado de Goiás, totalizando uma área de drenagem de 5480 km². A bacia faz parte dos seguintes municípios goianos: Formosa, Planaltina de Goiás, Valparaíso de Goiás, Cidade Ocidental, Luziânia e Cristalina, além de abranger grande parte do Distrito Federal envolvendo cidades satélites importantes como Planaltina, Sobradinho, São Sebastião e Paranoá, além do Plano Piloto. O Rio São Bartolomeu é formado pelos rios Pípiripau e Mestre d'Armas, nas proximidades de Planaltina, DF. A drenagem principal percorre aproximadamente 180 km predominantemente na direção N-S até desaguar no Rio Corumbá, onde divide os municípios de Luziânia e Cristalina, GO.

Geologia da região

A área do presente estudo situa-se sobre o grupo Paranoá, sendo que a Chapada do Pípiripau está sobre Metarritmitos Arenosos e Ardósias. Os limites planos dos topos das chapadas são condicionados por Quartizitos. As bordas das chapadas possuem morfologia em forma de ramas longas e convexas sobre Metarritmitos (EMBRAPA, 2006)

Geomorfologia da região

O relevo da bacia é predominantemente plano e suave ondulado, com padrões multiconvexos e processos dinâmicos estáveis, com ocorrência predominante de Latossolos. Estas características favorecem o uso agrícola e a recarga de nascentes (SENA-SOUZA, 2013).

Pedologia da região

Os Latossolos são solos em adiantada etapa de intemperismo, decorrentes de fortes transformações de seu material constituinte. Variam entre fortemente e

bem drenados, de forma geral muito profundos, altamente ácidos, com saturação por bases de média a alta. Apresentam altas concentrações de minerais secundários como a caulinita e óxidos e óxi-hidróxidos de Fe e Al, como hematita, goethita e gibsitita. São típicos de regiões tropicais e ocorrem normalmente em relevo plano e suave ondulado (REATTO *et al.*, 2004; EMBRAPA, 2006). A coloração varia entre o vermelho e o amarelo (LEPSCH, 2011).

Clima da região

A região está inserida no domínio morfoclimático do Cerrado (Ab'Saber, 1977), com sazonalidade bem definida, concentrando as chuvas entre outubro e abril. De acordo com a classificação de Köppen revisada por Alvares *et al.* (2013) o clima é tropical com inverno seco (Aw)

Histórico da área

A propriedade rural particular fica localizada nas proximidades da GO-430, km 1, no município de Formosa-GO entre as coordenadas 232931,19 mE e 8289229,17 mS e possui 60 hectares que já foram uma área de vegetação nativa de cerrado sentido restrito. A vegetação nativa foi convertida há aproximadamente 33 anos e o solo (Latossolo Vermelho) da propriedade sempre foi utilizado para desenvolver atividades agrícolas de forma mecanizada. O plantio convencional foi utilizado por 4 anos afim de evitar a rebrota da vegetação nativa, após esse período foi instalado o plantio direto como técnica de manejo de solo. No período de safra são utilizadas as cultivares soja, milho e feijão, já no período de safrinha somente feijão e milho (ALVES, 2015). Na condução das culturas, o controle químico de pragas, doenças e plantas daninhas é realizado conforme as recomendações técnicas para as culturas (ALVES, 2015).

O fragmento estudado corresponde a área de reserva legal dessa fazenda (figura 2), possui aproximadamente 10 hectares de vegetação nativa de cerrado sentido restrito, sofre invasão biológica por *Melinis minutiflora* (capim-gordura) principalmente em suas bordas, tem histórico de queimadas, contudo há nove anos não pega fogo. As características físico-química do solo do centro do fragmento da área de estudo são apresentadas na tabela 1 (Alves, 2015).

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo do centro do fragmento de cerrado sentido restrito correspondente a área de estudo

Característica	Profundidade 0-20 cm
% Argila	43,2 ± 4,2
% Silte	16,7 ± 1,7
% Areia	40,1 ± 3,9
Classe textural	Argilosa
Densidade (g cm ⁻³)	0,81 ± 0,01
pH	5,06 ± 0,12
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,45 ± 0,05
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	8,6 ± 0,5
P-remanescente (mg L ⁻¹)	9,0 ± 1,9
Soma de bases (cmol _c dm ⁻³)	0,63 ± 0,09
CTC efetiva	1,08 ± 0,12
CTC potencial	9,27 ± 0,58
Percentual de saturação por bases	6,8 ± 0,5

Dados extraídos de Alves (2015).

7. METODOLOGIA

Inicialmente foi efetuada uma identificação dos focos de invasão de capim-gordura dentro do fragmento. Foi utilizado GPS para marcar os pontos de coleta, dentre eles os de estabelecimento da gramínea invasora. Foi realizada a identificação das gramíneas de acordo com seu grupo funcional através dos dados do $\delta^{13}\text{C}$ da serapilheira das gramíneas, sendo que capim-gordura possui regime fotossintético C4 e as gramíneas nativas possuem regime fotossintético tanto C3 como C4. A discriminação entre capim-gordura (C4) e as gramíneas de cerrado C4 foi realizada visualmente.

Após a identificação foram instaladas três parcelas na área total do fragmento sendo que cada uma com aproximadamente 5600m² (80mx70m). A primeira parcela instalada no fragmento (parcela 1) está distante da borda norte (N) a 102 metros. As parcelas 1, 2 e 3 estão distantes 136 metros uma da outra. A última parcela (parcela 3) está distante a 102 metros da borda sul (S). As parcelas não atingiram a borda oeste (O) e foram instaladas a partir da borda leste (L) com sentido ao centro do fragmento (figura 2). A borda leste foi escolhida para a instalação das parcelas por apresentar invasão biológica por capim-gordura mais intensa. Cada parcela foi dividida em 100 sub-parcelas, sendo que cada sub-parcela tem uma área

aproximada de 56 m² (8mx7m). A área das três parcelas representa aproximadamente 16,5% da área total do fragmento.

Depois de estabelecidas parcelas e sub-parcelas, foi coletada uma amostra de solo na camada de 0-10 cm no ponto central de cada sub-parcela afim de obter as razões isotópicas de carbono e nitrogênio no solo e uma outra amostra adjacente (0-10 cm de profundidade) para determinar a concentração de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻, taxas de mineralização líquida e nitrificação líquida de N, pH e a umidade do solo (figura 4). As amostras de solo foram coletadas em sub-parcelas de capim-gordura (CG), de gramíneas nativas (N) e em sub-parcelas dominadas por arbustos/arbóreas de cerrado sentido restrito (C3) com a presença de um estrato herbáceo composto por gramíneas C3 e C4 (CSS).

Para a serapilheira foram coletadas amostras em trinta sub-parcelas (10 em cada parcela) de capim-gordura (C4) (CG), de gramíneas nativas (C3/C4) (N) e de arbustos/arbóreas (C3) de cerrado sentido restrito (CSS). Foram escolhidas as sub-parcelas mais representativas de acordo com o tipo de vegetação. As amostras de serapilheira foram utilizadas para as análises isotópicas de C e N e determinação da razão C/N.

O método para a estimativa da taxa de decomposição utilizado foi o de avaliação direta da perda de massa, com a utilização de bolsas de nylon (litterbags) de malha de 1 mm e 2mm com tamanho de 20 cm x 20 cm cada, estes tamanhos são razoáveis para impedir perdas por lixiviação. As bolsas com diferentes malhas foram utilizadas para analisar a ação da mesofauna (1mm) e da macrofauna (2mm) na decomposição. Por meio desse método, as serapilheiras de CSS (C3), de N (C3/C4) e de CG (C4), com massa inicial conhecida, foram colocadas dentro das bolsas e incubadas por períodos de tempo determinados. Em dezembro de 2015, os detritos foliares (folhas senescentes obtidas na serapilheira depositada sobre o solo) foram coletados para compor as amostras dos litterbags. Foram coletadas 9 amostras, sendo 3 em cada parcela para cada tratamento.

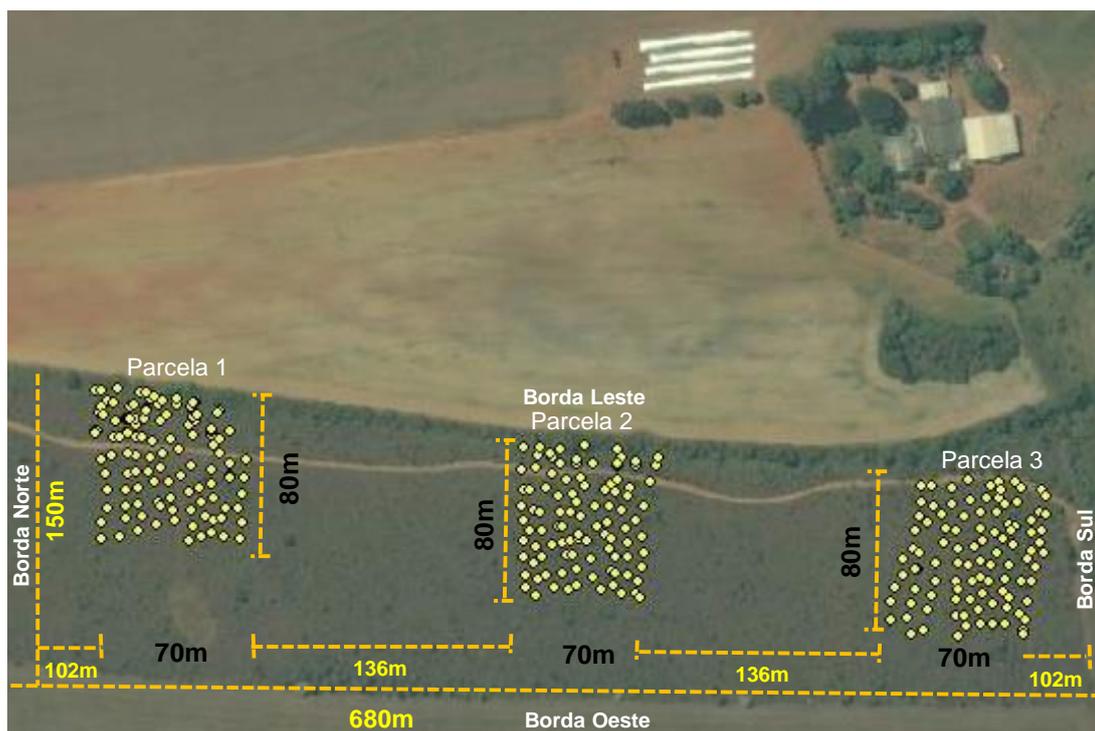


Figura 2. Esquema de instalação das parcelas e pontos de coleta do fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pipiripau, DF, área de execução do trabalho

Análises laboratoriais

7.1 Análise isotópica solo e serapilheira

As amostras de solo para determinar as razões isotópicas foram secas ao ar e passadas em peneira com malha de 2mm formando a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). As amostras de serapilheira foram lavadas com água destilada, secas em estufa a 65°C por 72 horas e moídas a fino pó.

A partir do material preparado, foi pesada uma sub-amostra de 30 a 35 mg de solo e cerca de 1,5 a 2,0 mg do material de serapilheira, que foram acondicionadas em cápsula de estanho. Essas cápsulas foram submetidas a um analisador elementar (Carlo Erba, modelo 1110, Milão, Itália), que determina a concentração de N e C total por combustão. O produto da combustão é purificado em uma coluna de cromatografia gasosa e introduzido diretamente em um espectrômetro de massas para razões isotópicas (ThermoQuest-Finnigan Delta Plus, Finnigan-MAT, Califórnia, EUA). A abundância natural de ^{13}C e ^{15}N é expressa como desvios por mil

(‰) de um padrão reconhecido internacionalmente, por intermédio da equação $\delta = (R \text{ amostra}/R \text{ padrão} - 1) \times 1000$, onde R é a razão molar de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ na amostra e no padrão. O padrão para o C é a rocha PDB (Belemnite americana da formação cretácea PeeDee, Carolina do Sul) para o N é o ar atmosférico. O erro analítico aceitável para C, N, ^{13}C e ^{15}N é de 0,15%, 0,01%, 0,30‰ e 0,30‰, respectivamente. Todas as amostras de solo e serapilheira foram enviadas para análise isotópica no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) da Universidade de São Paulo.

Para estimar a contribuição das fontes C3 e C4 na matéria orgânica do solo foi utilizado o modelo de mistura para duas fontes de composições isotópicas distintas, utilizando os valores de $\delta^{13}\text{C}$ na equação abaixo (MARTINELLI *et al.* 2009), onde as diferentes fontes a e b unem-se para formar o produto c:

$$A = (\delta^{13}\text{C}_c - \delta^{13}\text{C}_b) / (\delta^{13}\text{C}_a - \delta^{13}\text{C}_b);$$

Onde a: serapilheira (capim-gordura); b: serapilheira (arbóreas e arbustivas); c: solo do fragmento (remanescente de cerrado sentido restrito).

Para estimar o valor de discriminação isotópica das áreas foi utilizado os valores de $\delta^{15}\text{N}$ na equação abaixo (MARTINELLI *et al.* 2009):

$$\Delta = \delta_{\text{substrato}} - \delta_{\text{produto}}$$

Onde: $\delta_{\text{substrato}}$ ($\delta^{15}\text{N}$ solo); δ_{produto} ($\delta^{15}\text{N}$ serapilheira).

7.2 Concentração de N-NH_4^+ e N-NO_3^- e taxas de mineralização

Para determinar a concentração de N-NH_4^+ e N-NO_3^- foi utilizada uma metodologia baseada em Piccolo *et al.* (1994). As amostras de solo fresco foram extraídas com KCl 1M durante 24 horas. Após 24h os extratos foram filtrados e mantidos congelados. Para a mineralização de N parte do solo coletado permaneceu no escuro por 7 dias a temperatura ambiente. Posteriormente, os extratos das amostras incubadas foram obtidos através da mesma metodologia e preservados em congelamento. As taxas de produção de N mineral (N-NH_4^+ e N-NO_3^-) foram determinadas colorimetricamente através de um sistema de análise de injeção de

fluxo (FIA), Lachat Quikchem FIA 8500, série 2, acoplado a um espectrofotômetro de UV-VIS, utilizando de base a reação de Berthelot, onde a colorimetria foi realizada em meio tamponado e os reagentes colorimétricos utilizados foram o salicilato e o NaOCl. As concentrações dos íons NH_4^+ e NO_3^- foram transformadas para as concentrações de nitrogênio do amônio (N- NH_4^+) e nitrogênio do nitrato (N- NO_3^-) para verificar a transformação de N no solo. A mineralização líquida do N corresponde a diferença entre o somatório das concentrações de N- NH_4^+ e N- NO_3^- final (*i.e.* das amostras incubadas) e inicial e a nitrificação líquida, a diferença na concentração de N- NO_3^- final e inicial. Todos os resultados foram expressos baseados no peso de solo seco (PS) a 105 °C.

As análises de concentração dos íons N- NH_4^+ e N- NO_3^- foram realizadas na Embrapa Cerrados.

7.3 Teor de água gravimétrica

Para a determinação do teor de água gravimétrica foi utilizada a metodologia de Piccolo *et al.* (1994), onde sub-amostras de solo (cerca de 20 g), foram pesadas em uma balança semi-analítica (0,1 g), secas em estufa à 105 °C por 72 h e pesadas novamente. A diferença entre o peso úmido (PU) e o peso seco (PS) representa o teor gravimétrico de água no solo (TG H_2O), de acordo com o cálculo $\text{TG} (\%) = ((\text{PU} - \text{PS}) / \text{PS}) \times 100$. O teor de água gravimétrica do solo foi realizado no laboratório de Solos e Vegetação (Ecologia/IB/UnB).

7.4 Taxa de decomposição da serapilheira

Após coletados, os detritos foliares foram encaminhados para o Laboratório de Solos e Vegetação, Departamento de Ecologia, da UnB, para secagem do material na estufa a 65°C durante 72 horas. A partir das amostras de cada tipo de material vegetal seco (CG (C4), N (C3/C4) e CSS (C3)) foram confeccionadas as litterbags (bolsas de decomposição de malha de 2 mm e de 1mm) contendo 10 g de material para serem incubadas no campo e retiradas após 30 (T1), 60 (T2) e 120 (T3) dias. As amostras coletadas em cada parcela voltaram ao campo e foram incubadas exatamente no mesmo ponto em que foram retiradas. Em cada coleta

foram retiradas 9 litterbags de cada tipo de material pelos tempos determinados, somando um total de 27 amostras por tipo vegetal (T1+T2+T3).

Após cada retirada de litterbags do campo, a serapilheira remanescente foi seca em estufa a 65°C durante 72 horas e pesado (massa seca final). Também foi calculada a média da perda da massa foliar em porcentagem das três amostras retiradas de cada coleta em todos os tempos determinados.

Os coeficientes de decomposição K e K' foram calculados segundo Olson (1963). O coeficiente K' é referente à quantidade de material decomposto em um dado intervalo de tempo, ao passo que o K se refere a razão instantânea de decomposição, estando ligado ao modelo exponencial, pois Wieder; Lang (1982) afirmam que, geralmente, os modelos exponenciais são mais realísticos em termos de comportamento matemático e biológico.

A relação entre os coeficientes é expressa pelas seguintes equações:

$$K' = \frac{Ax}{X_0} \quad K = -\ln(1 - k')$$

Onde:

Ax = quantidade de material perdido no tempo

X₀ = quantidade inicial de material

Para o cálculo do tempo necessário para decompor 50% do material foi utilizado:

$$T_{50\%} = \frac{0,693}{K}$$

As expressões utilizadas consideram K como constante de decomposição na condição de equilíbrio dinâmico e o K' considera a escala do tempo durante o experimento de decomposição.

7.5 pH do solo

A aferição do pH do solo foi realizada em água e em cloreto de cálcio dihidratado (CaCl₂). Sub-amostras de TFSA foram pesadas (10 g) e colocadas em solução de 25ml de água destilada (proporção de 1:2,5). Após 1 hora de repouso a medição foi feita em peagâmetro (EMBRAPA,1997). O mesmo processo foi realizado para aferição em cloreto de cálcio dihidratado. As análises de pH foram feitas no laboratório de Solos e Vegetação (Ecologia/IB/UnB).

7.6 Análises estatísticas

O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para testar a normalidade dos dados. Os dados de concentração de N-NH_4^+ e N-NO_3^- , taxas líquidas de mineralização e nitrificação, $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ do solo e da serapilheira e razão C/N do solo não seguiram uma distribuição normal, dessa forma, afim de testar a significância e a diferença entre os tratamentos, foram aplicados os testes não-paramétricos Kruskal-Wallis seguido pelo teste de Dunn. Os dados de perda de massa da serapilheira, taxa de decomposição da serapilheira e razão C/N da serapilheira seguiram distribuição normal, dessa forma, afim de testar a significância e a diferença entre os tratamentos, foram aplicados os testes paramétricos ANOVA seguido do teste de Tukey.

Foi realizada uma regressão linear simples entre os dados de N-mineral do solo e $\delta^{15}\text{N}$ do solo e serapilheira para verificar a existência de relação entre eles. Foi adotada uma significância de $p \leq 0,05$. As análises estatísticas foram feitas usando o programa estatístico R (R CORE TEAM, 2015).

7.7 Análise espacial

Para mapear o padrão de distribuição espacial dos dados de $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$ e pH em água do solo, foram realizadas interpolações gerando superfícies contínuas através de krigagem ordinária. Os dados foram espacializados através de geocalgoritmos disponíveis no programa Arcgis versão 10.3.

8. RESULTADOS

A maior presença da gramínea invasora foi constatada na parcela 3 seguidas pelas parcelas 1 e 2 respectivamente. Dos pontos coletados na parcela 1, 25% correspondem a CG, 27% a N e 48% a CSS. Na parcela 2, 18% correspondem a CG, 16% a N, 66% a CSS. Na parcela 3, 47% correspondem a CG, 13% a N e 40% a CSS. Ao todo, dos pontos coletados, 90 foram de CG, 56 de N e 154 de CSS (Figura 3).

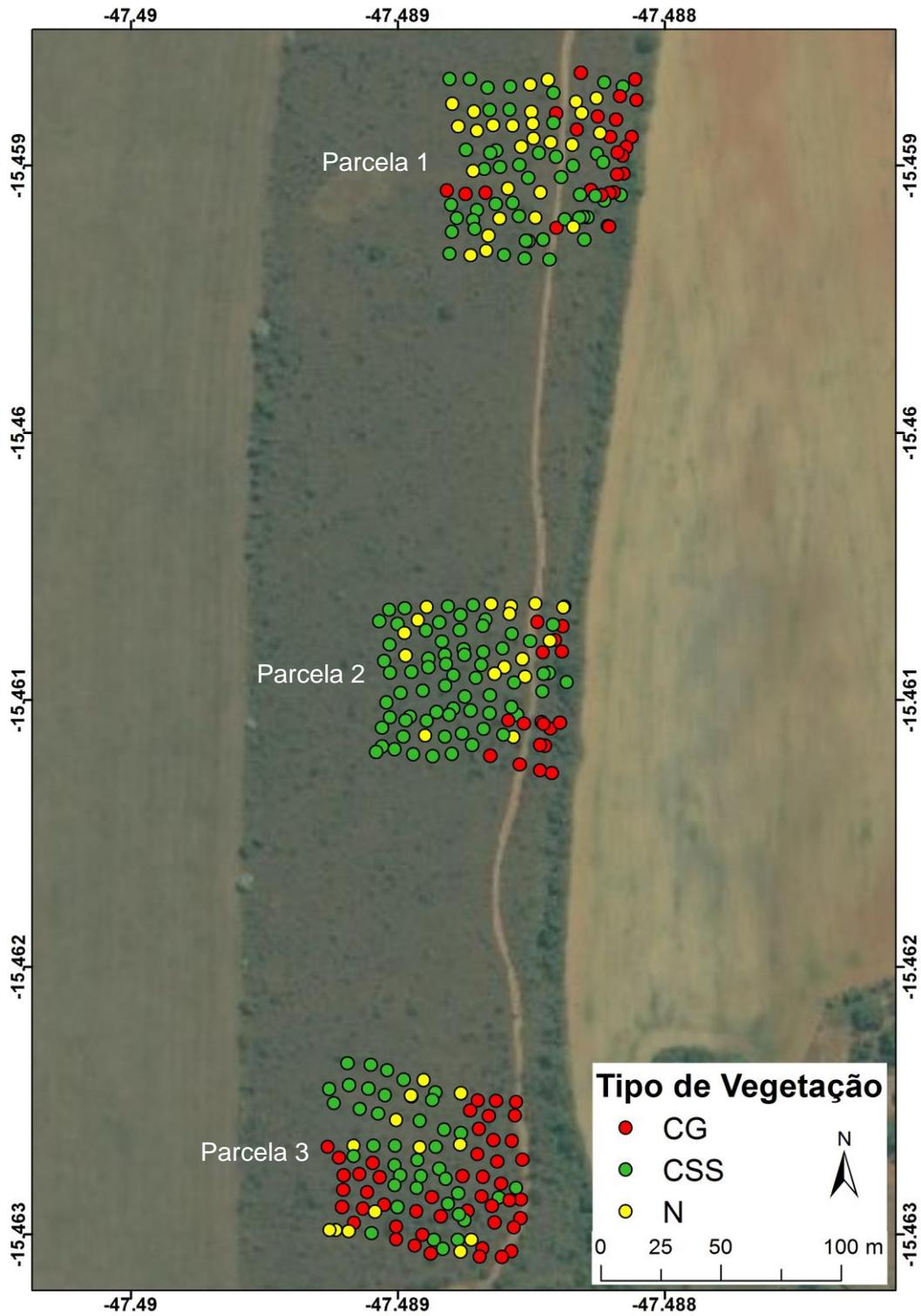


Figura 3. Identificação do tipo de vegetação coletado em cada parcela do fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015.

8.1 Potencial Hidrognônico (pH) do solo

O pH do solo de todas as sub-parcelas foi ácido (Figura 4). Foi observada diferença ($H=7,09$; $df=2,87$; $p<0,05$) para pH em H_2O (pH H_2O) entre CG e N (Tabela 2). O valor de pH_{H_2O} do solo na profundidade de 0-10cm nas sub-parcelas de CG foi significativamente maior (5,18) do que nas sub-parcelas de N (5,05) (Figura 6). Para pH_{H_2O} não foi observada diferença entre N e CSS e entre CG e CSS (Tabela 2).

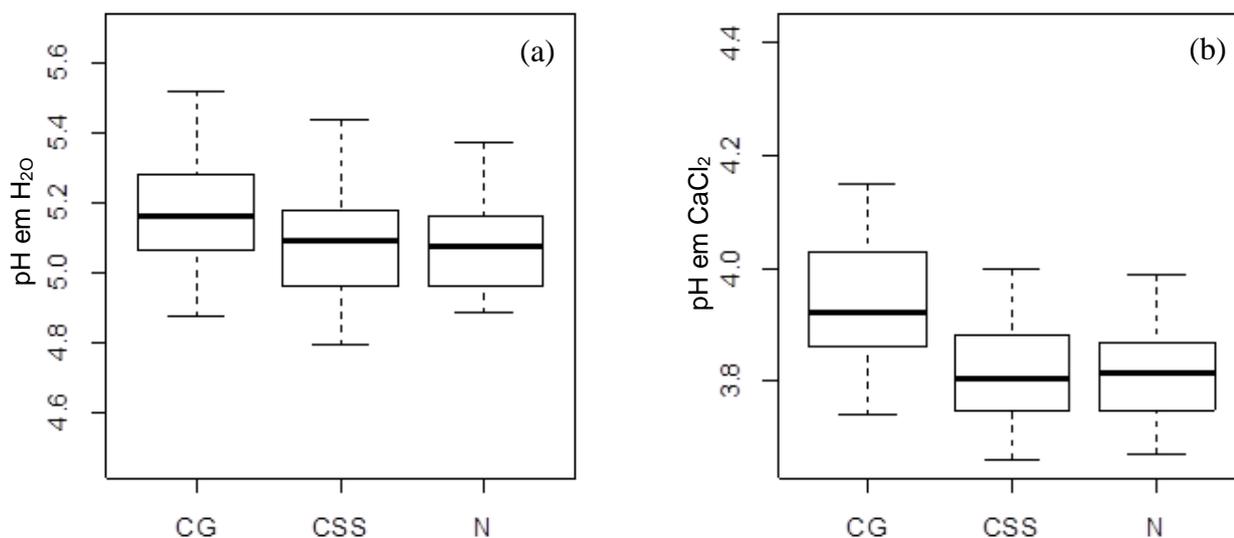


Figura 4. pH_{H_2O} (a) e pH_{CaCl_2} (b) dos solos sob sub-parcelas de CSS, N e CG, em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pipiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015.

Para pH em $CaCl_2$ (pH $CaCl_2$) foi observada diferença ($H=20,20$; $df=2,87$; $p<0,05$) entre CG e N e entre CG e CSS (Tabela 2). O valor de pH $CaCl_2$ do solo na profundidade de 0-10cm foi significativamente maior para CG (3,96), do que para CSS (3,82) e N (3,82).

Tabela 2. Valores de pH H_2O e pH $CaCl_2$ de solo em sub-parcelas de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pipiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015

	CG	N	CSS
pH H_2O	5.18 ± 0.18 b	5.05 ± 0.18 a	5.08 ± 0.15 ab
pH $CaCl_2$	3.96 ± 0.16 b	3.82 ± 0.09 a	3.82 ± 0.09 a

Estão apresentados a média ± o desvio padrão dos teores de pH do solo na camada de 0-10cm em sub-parcelas de CSS, N e CG. Letras distintas indicam haver diferença estatística significativa ($p\leq 0,05$) entre os tratamentos.

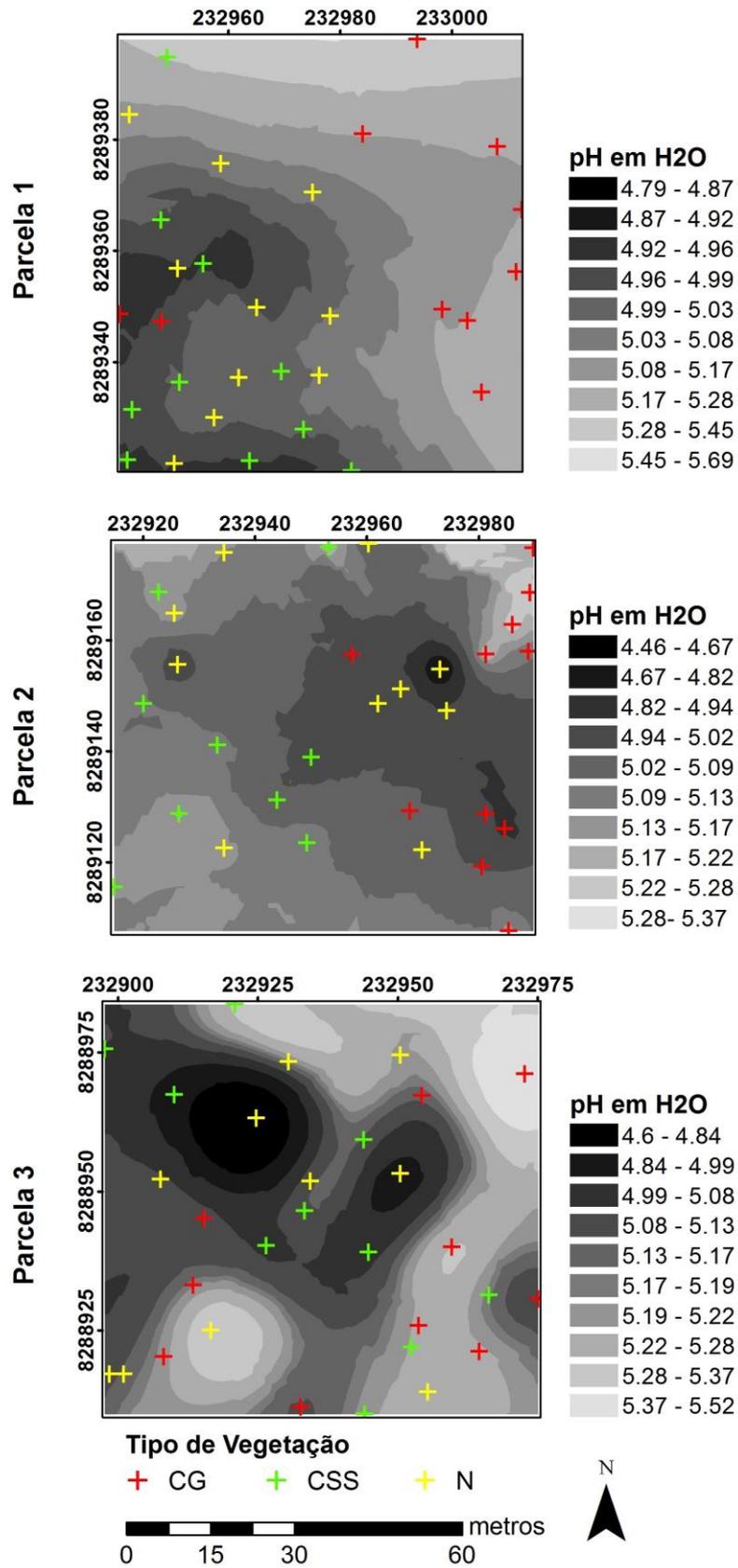


Figura 5. Interpolação dos dados de pH H₂O dos solos sob CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pipiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015

8.2 Decomposição da serapilheira

Utilizando a litterbag com malha de 1mm, a serapilheira de CSS (C3) perdeu 0,5% da massa inicial após 30 dias de decomposição, 4,0% após 60 dias de decomposição e 12,2% após 120 dias de decomposição. A serapilheira de N (C3/C4) perdeu 10,5% da massa inicial após 30 dias de decomposição, 14,8% após 60 dias de decomposição e 22,2% após 120 dias de decomposição. A serapilheira de CG (C4) perdeu 4,7% da massa inicial após 30 dias de decomposição, 8,4% após 60 dias de decomposição e 21,7% após 120 dias de decomposição. A perda de massa não diferiu entre CSS (C3) e CG (C4) após 30 e 60 dias de decomposição. Após 120 dias de decomposição a diferença de massa foi significativa ($F=12,78$; $df= 2,6$; $p<0,05$) entre N (C3/C4) e CSS (C3) e entre CG (C4) e CSS (C3) (Tabela 3). A perda de massa da serapilheira de CSS (C3) foi menor do que a dos demais tipos de vegetação avaliados. No final do período avaliado o valor médio de massa correspondente a CSS (C3) foi equivalente a 8,78g, para N (C3/C4) 7,78g e para CG (C4) 7,83g.

Para a litterbag com malha de 2mm, a serapilheira de CSS (C3) perdeu 1,6% da massa inicial após 30 dias de decomposição, 17,4% após 60 dias de decomposição e 13,1% após 120 dias de decomposição. A serapilheira de N (C3/C4) perdeu 17,3% da massa inicial após 30 dias de decomposição, 17,4% após 60 dias de decomposição e 37,4% após 120 dias de decomposição. A serapilheira de CG (C4) perdeu 7,6% da massa inicial após 30 dias de decomposição, 11,3% após 60 dias de decomposição e 25,8% após 120 dias de decomposição. Para a malha de 2mm, nos primeiros 30 dias de decomposição a massa da serapilheira não diferiu ($F=3,29$; $df=2,6$; $p>0,05$) entre os tipos de vegetação. Após 60 dias de decomposição houve diferença ($H= 7,26$; $df=2,6$; $p<0,05$) entre as massas de serapilheira de CSS (C3) e N (C3/C4). Após 120 dias de decomposição os tipos de vegetação não apresentaram diferença ($F=4,408$; $df=2,6$; $p>0,05$) entre as massas de serapilheira. A serapilheira de CSS (C3) foi a que apresentou uma menor perda de massa ao longo dos 120 dias de decomposição avaliados (Tabela 3). No final dos 120 dias de decomposição a massa da serapilheira de CSS (C3) foi equivalente a 8,7g, de N (C3/C4) 6,3g e de CG (C4) 7,4g.

Tabela 3. Massa em gramas ao longo do tempo de decomposição de serapilheira de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pipiripau, DF

	Litterbag malha 1mm				Litterbag malha 2mm			
	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3
CSS (C3)	10	9,9± 0,16a	9,6± 0,07a	8,8± 0,07a	10	9,8± 0,23a	9,5± 0,16a	8,7± 0,07a
N (C3/C4)	10	8,9± 0,15b	8,5± 0,25b	7,8± 0,22b	10	9,0± 0,32a	8,3± 0,15b	6,3± 0,25a
CG (C4)	10	9,5± 0,4a	9,2± 0,12a	7,8± 0,2b	10	9,2± 0,62a	8,9± 0,4ab	7,4± 0,12a

Estão apresentados a média \pm o desvio padrão dos valores da massa em gramas da serapilheira de CSS (C3), N (C3) e CG (C4) de acordo com os tempos de retirada das litterbags de malhas 1mm e 2mm. Onde T0: massa conhecida colocada em campo no mês de dezembro de 2015; T1: 30 dias de decomposição (retirada litterbag em janeiro de 2016); T2: 60 dias de decomposição (retirada litterbag em fevereiro de 2016); T3: 120 dias de decomposição (retirada litterbag em abril de 2016). Letras distintas indicam haver diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos.

Utilizando a litterbag com malha de 1mm, a taxa de decomposição k apresentou diferença ($F= 11,74$; $df= 2,6$; $p < 0,05$) entre CSS (C3) e N (C3/C4) e entre CSS (C3) e CG (C4). A taxa de decomposição (k) para CSS (C3) foi equivalente a 0,40/ano, para N (C3/C4) 0,77/ano e para CG (C4) 0,75/ano, ou seja, a serapilheira de CSS (C3) decompõem mais lentamente do que as demais (Figura 6). Para decompor 50% do material em CSS (C3) são necessários 1,8 anos, enquanto que para N (C3/C4) e CG (C4) são necessários 0,9 ano. Para a litterbag com malha de 2mm, a taxa de decomposição k não apresentou diferença ($F=3,894$; $df=2,6$; $p > 0,05$) entre os tipos de vegetação avaliadas. Para essa malha, a taxa de decomposição (k) para CSS (C3) foi equivalente a 0,43/ano, para N (C3/C4) 1,47/ano e para CG (C4) 0,93/ano.

Não foi constatada diferença nas taxas de decomposição entre as malhas de 1mm e 2mm para CSS (C3) ($F=0,453$; $df=1,1$; $p > 0,05$), N (C3/C4) ($F=13,05$; $df=1,1$; $p > 0,05$) e CG (C4) ($F=9,73$, $df=1,1$; $p > 0,05$). Não houve diferença para perda de massa entre as malhas para CSS (C3) ($F= 0,263$; $df=1,4$; $p > 0,05$), para N (C3/C4) ($F=3,569$; $df=1,4$; $p > 0,05$) e CG (C4) ($F=0,414$; $df=1,4$; $p > 0,05$).

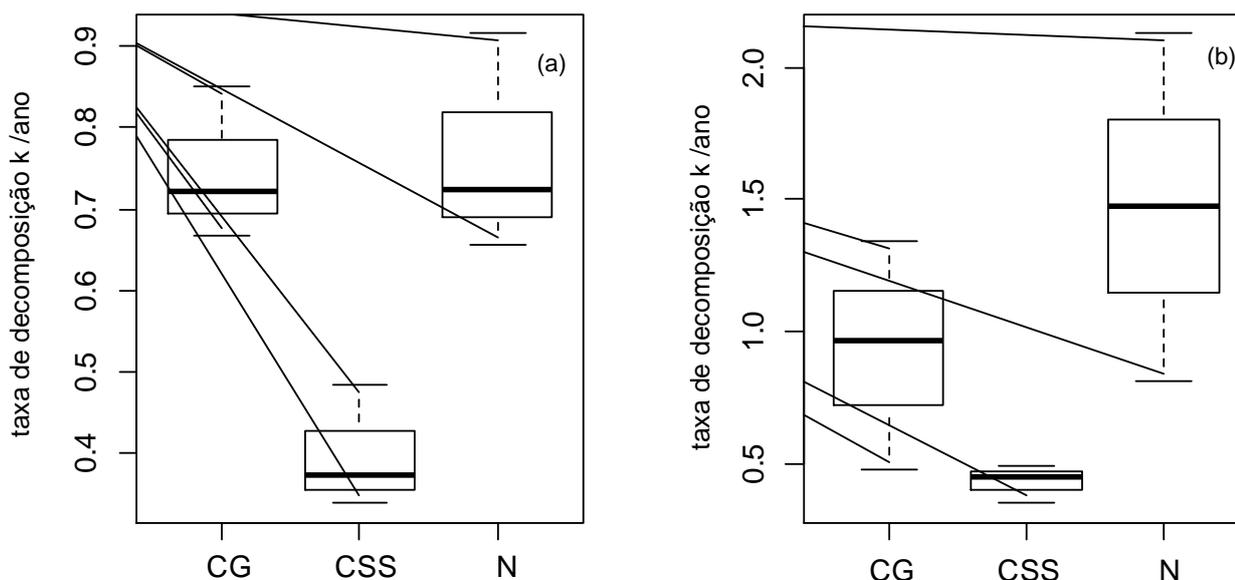


Figura 6. Taxa de decomposição (k) da serapilheira de CSS (C3), N (C3/C4) e CG (C4) em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF. Onde (a) corresponde a litterbag com malha de 1mm e (b) corresponde a litterbag com malha de 2mm

8.3 Concentração de $N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$ no solo, taxas de mineralização líquida, nitrificação líquida e razão $N-NH_4^+/N-NO_3^-$

Para concentração de $N-NH_4^+$ somente foi observada diferença ($H=9,21$; $df=2$, 290; $p<0,05$) entre solos de CSS e N (Figura 7), sendo que a concentração de $N-NH_4^+$ foi maior em CSS ($4,07 \text{ mg kg}^{-1}$) do que em N ($3,05 \text{ mg kg}^{-1}$) (Tabela 4). Para concentração de $N-NO_3^-$ não houve diferença ($H=5,2532$; $df=2$, 272; $p>0,05$) (Tabela 4) entre as sub-parcelas estudadas, assim como para a taxa de nitrificação líquida ($H=1,751$; $df=2,75$; $p>0,05$) (Figura 9). A taxa de mineralização líquida (Figura 9) não apresentou diferença ($H=1,73$; $df=2$, 69; $p>0,05$) entre as sub-parcelas estudadas e apresentou valor médio de $0,19 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ para CSS, $0,06 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ para N e $0,18 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ para CG. A razão $N-NH_4^+/N-NO_3^-$ diferiu ($H=9,24$; $df=2$, 266; $p<0,05$) apenas entre as sub-parcelas de N e CSS (Figura 8) sendo maior em sub-parcelas de CSS.

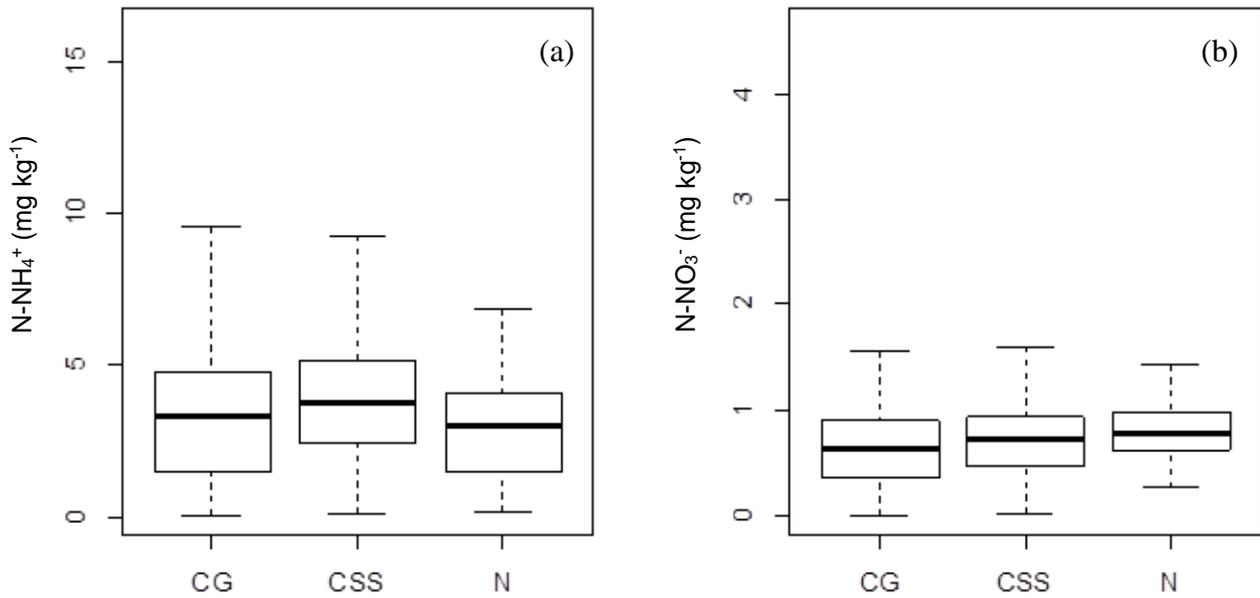


Figura 7. Concentração de $N-NH_4^+$ (a) e $N-NO_3^-$ (b) em $mg.kg^{-1}$ dos solos em sub-parcelas de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015

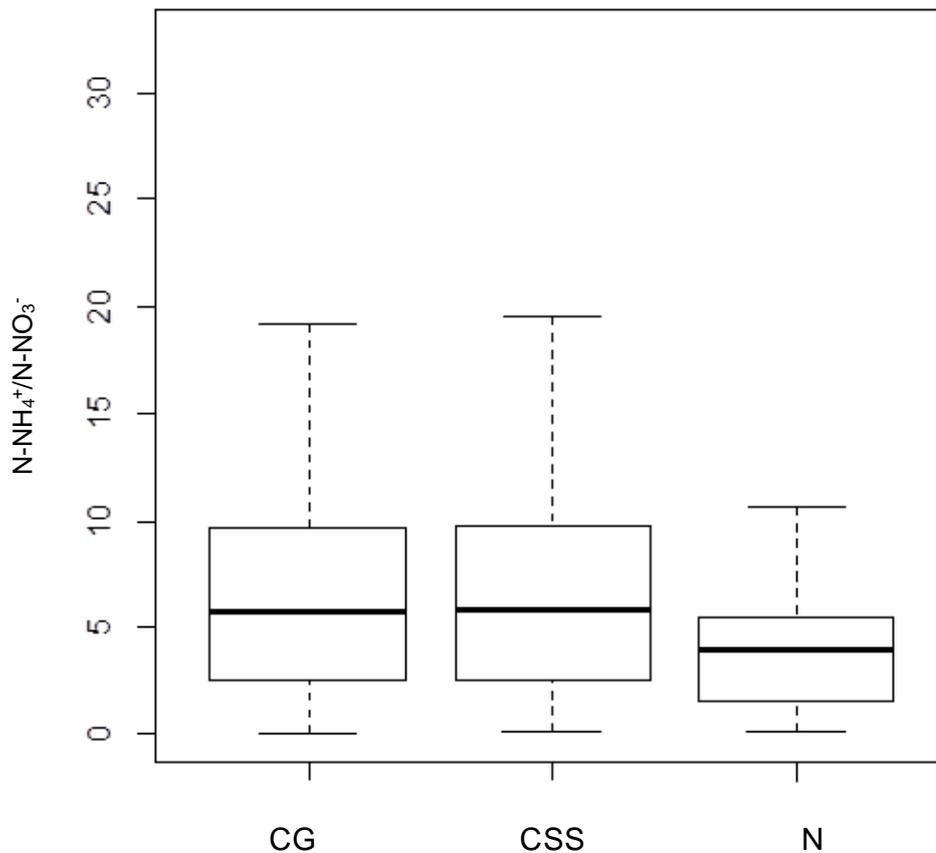


Figura 8. Razão $N-NH_4^+/N-NO_3^-$ dos solos das sub-parcelas de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015

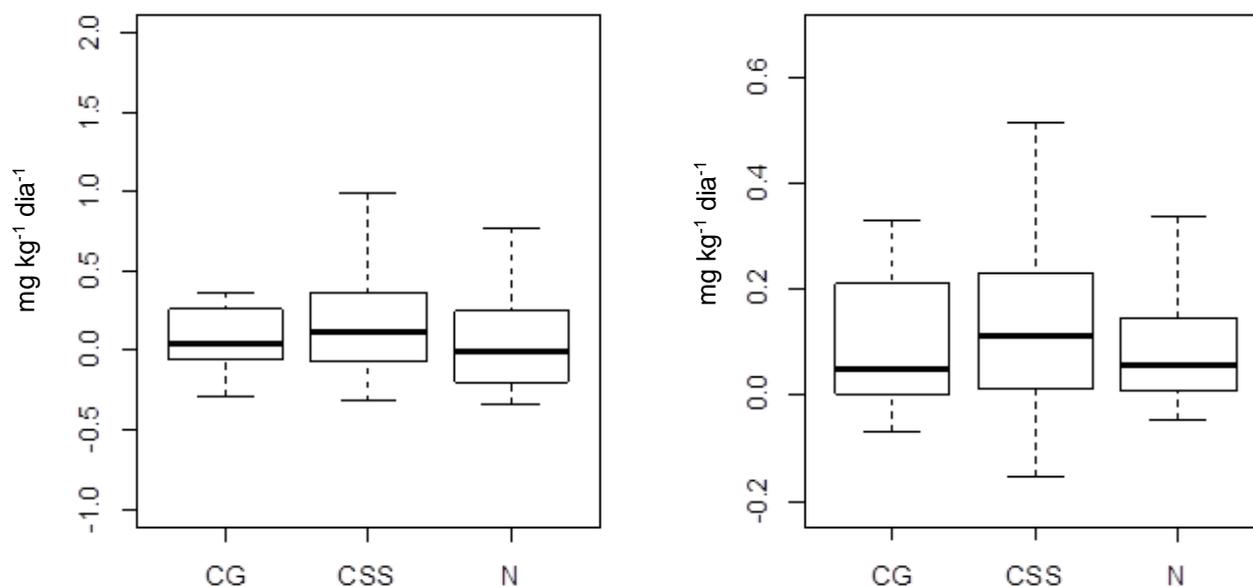


Figura 9. Taxa de mineralização líquida (a) e nitrificação líquida (b) em $\text{mg.kg}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ no solo das sub-parcelas de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015

Tabela 4. Concentração de N-NH_4^+ e N-NO_3^- no solo das sub-parcelas de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015

	n	N-NH₄⁺	n	N-NO₃⁻
CSS	152	4,35 ± 4,24 b	147	0,86 ± 1,11 A
N	55	3,06 ± 1,94 a	55	0,93 ± 0,67 A
CG	86	3,44 ± 2,44 ab	73	0,70 ± 0,48 A

Estão apresentados a média ± o desvio padrão da concentração de N-NH_4^+ e N-NO_3^- em solos na camada de 0-10cm em sub-parcelas de CSS, N e CG. Letras distintas indicam haver diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos. Letras maiúsculas representam diferença estatística significativa em concentração de N-NO_3^- e letras minúsculas representam diferença estatística significativa em concentração de N-NH_4^+ . “n” indica o tamanho amostral.

8.4 $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ do solo

No solo das sub-parcelas de CG o $\delta^{15}\text{N}$ (6,06‰) foi maior ($H=8,6178$; $df=2$, 297; $p < 0,05$) do que em sub-parcelas de CSS (5,86‰) e N (5,83‰) (Tabela 5).

O solo nas sub-parcelas de CG apresentou $\delta^{13}\text{C}$ (-19,15‰) menor quando comparado aos demais tratamentos (Tabela 5).

Tabela 5. Valores do $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ no solo das sub-parcelas de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015

	n	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
CSS	154	5,86‰±0,53 b	-20,30‰±0,86 b
N	56	5,83‰±0,54 b	-20,06‰±0,91 b
CG	90	6,06‰±0,57 a	-19,15‰±0,93 a

Estão apresentados a média \pm o desvio padrão do $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$ e da razão C/N dos solos de profundidade de 0-10cm em sub-parcelas de CSS, N e CG. Letras distintas indicam haver diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos. "n" indica o tamanho amostral.

8.5 $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ da serapilheira

O valor de $\delta^{13}\text{C}$ da serapilheira diferiu ($H=72,044$; $df=2, 86$; $p < 0,05$) entre os tratamentos, sendo maior para CSS (-29,06‰) e menor para CG (-14,22‰) (Tabela 6). O valor do $\delta^{13}\text{C}$ de N (-21,01‰) indica uma mistura entre gramíneas C3 e C4 (Tabela 6).

O valor de $\delta^{15}\text{N}$ foi maior para CSS ($H=15,02$; $df=2,86$; $p < 0,05$) (Tabela 6). O valor médio do $\delta^{15}\text{N}$ de CG foi -1,86‰, enquanto para N foi de -1,70‰ e CSS de -0,59‰ (tabela 5).

Tabela 6. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ e de $\delta^{13}\text{C}$ da serapilheira de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015

	n	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
CSS (C3)	30	-0,59‰±1,50 a	-29,06‰ \pm 0,87 a
N (C3/C4)	29	-1,70‰±0,76 b	-21,01‰ \pm 4,70 b
CG (C4)	30	-1,86‰±1,10 b	-14,22‰ \pm 1,27 c

Estão apresentados a média \pm o desvio padrão dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ e de $\delta^{13}\text{C}$ da serapilheira de CSS, N e CG. Letras distintas indicam haver diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos. "n" indica o tamanho amostral.

8.6 Contribuição das fontes C3 e C4 na matéria orgânica

Da matéria orgânica do solo das sub-parcelas de CSS, 59,02% representam fonte C4 enquanto 40,98% representam fonte C3. Em N, 39,35% correspondem a fonte C3 e 60,64% a fonte C4. Para CG 66,77% representam fonte C4 enquanto 33,23% fonte C3.

8.7 Teores de N e C e razão C/N no solo e na serapilheira

O teor de N no solo das sub-parcelas de CG foi maior do que os demais tratamentos ($H= 58,69$; $df=2,297$; $p<0,05$). Para %C no solo não foi encontrada diferença entre os tratamentos estudados ($H= 1,70$; $df=2,297$; $p>0,05$). A razão C/N ($H=15,073$; $df=2, 297$; $p<0,05$) do solo foi menor nas sub-parcelas de CG (19,52) (Tabela 7).

Tabela 7. Valores de %N, %C e razão C/N do solo de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015

	n	%N	%C	C/N
CSS	154	0,171%±0,01a	3,33%±0,34a	19,41±0,70b
N	56	0,171%±0,01a	3,34%±0,31a	19,52±0,89b
CG	90	0,179%±0,01b	3,40%±0,39a	19,02±0,80a

Estão apresentados a média ± o desvio padrão dos valores de %N, %C e razão C/N do solo das sub-parcelas de CSS, N e CG. Letras distintas indicam haver diferença estatística significativa ($p\leq 0,05$) entre os tratamentos. "n" indica o tamanho amostral.

O valor de %N da serapilheira foi maior ($H= 58,69$, $df=2, 86$; $p<0,05$) na serapilheira de CSS. O mesmo padrão foi encontrado para %C na serapilheira ($H=58,04$, $df=2, 86$; $p<0,05$) (Tabela 8). Para a razão C/N houve diferença ($F=54,61$; $df=2, 86$; $p< 0,05$) entre os tratamentos, sendo que CG apresentou maior valor (111,97), seguido por N (90,11) e CSS (55,74) respectivamente (Tabela 8).

Tabela 8. Valores de %N, %C e razão C/N da serapilheira de CSS (C3), N (C3) e CG (C4) em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015

	n	%N	%C	C/N
CSS (C3)	30	0,94%±0,19a	50,01%±1,1a	55,74 ± 12,06a
N (C3/C4)	29	0,51%±0,09b	44,73%±0,9b	90,11 ± 16,55b
CG (C4)	30	0,44%±0,14b	45,40%±1,3b	111,97 ± 29,96c

Estão apresentados a média ± o desvio padrão dos valores de %N e de %C da serapilheira de CSS, N e CG. Letras distintas indicam haver diferença estatística significativa ($p\leq 0,05$) entre os tipos de vegetação. "n" indica o tamanho amostral.

8.8 Discriminação isotópica (Δ)

A discriminação isotópica foi maior para as áreas de CG (7,8‰) seguido por N (7,6‰) e CSS (6,4‰) respectivamente. (Figura 10).

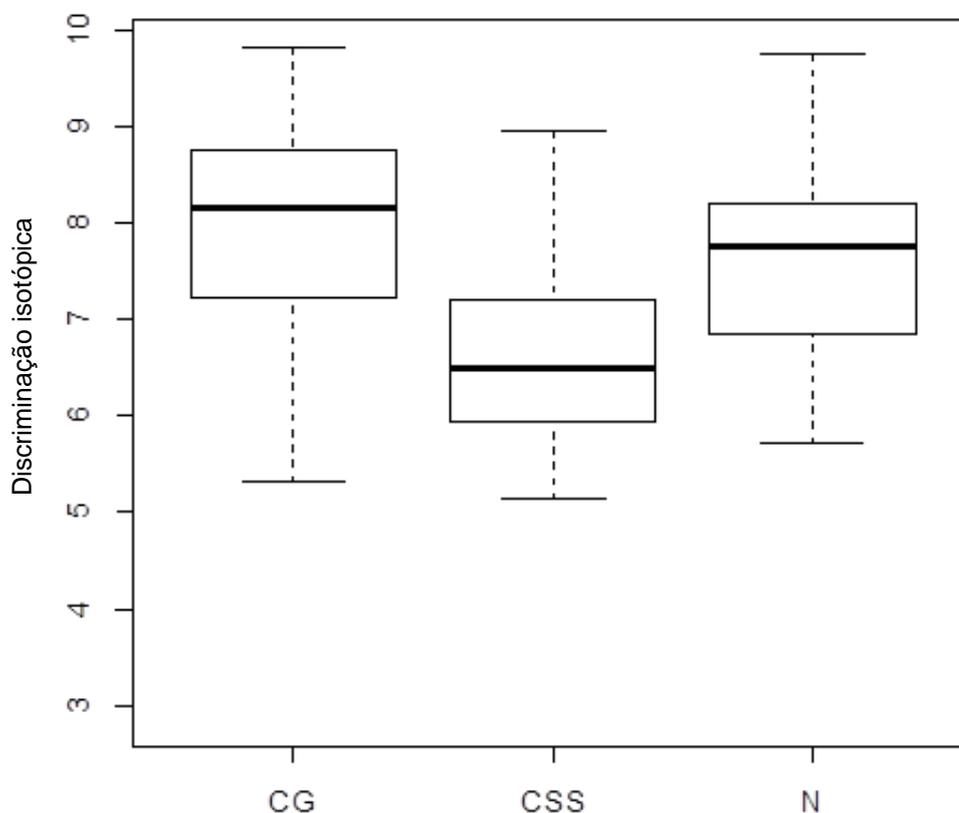


Figura 10. Discriminação isotópica das sub-parcelas de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015

8.9 Relação N-mineral do solo e $\delta^{15}\text{N}$ da serapilheira e do solo

Não foi encontrada relação ($p > 0,05$) entre o N-mineral ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$) do solo e o $\delta^{15}\text{N}$ da serapilheira para CSS e para N, contudo foi encontrada relação para CG ($p < 0,05$). Para CG foi encontrada uma relação linear positiva, ou seja, com aumento do valor do N-mineral ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$) há um enriquecimento do $\delta^{15}\text{N}$ da serapilheira (Figura 11).

Através da regressão linear não foi encontrada relação ($p > 0,05$) entre o N-mineral do solo ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$) e o $\delta^{15}\text{N}$ do solo para nenhum dos tratamentos estudados, CSS, N e CG (Figura 12).

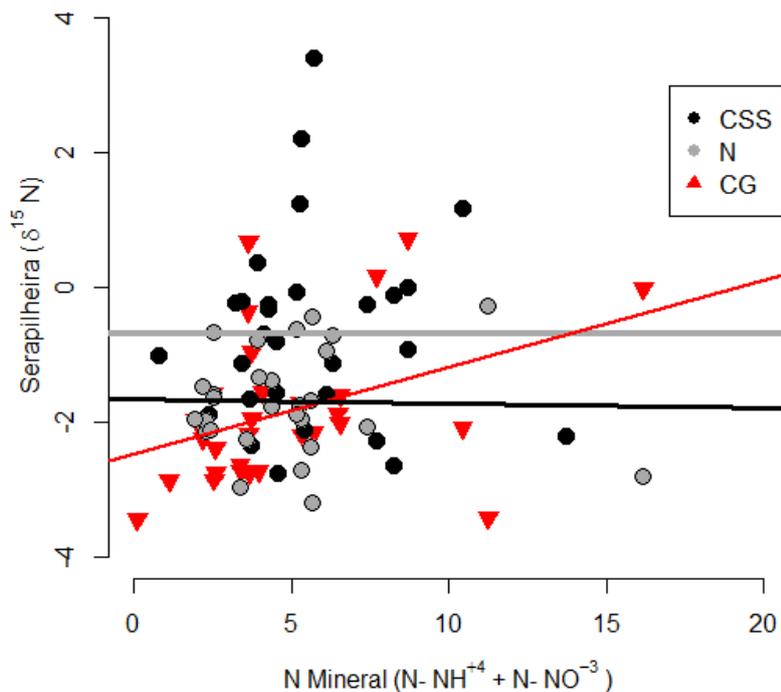


Figura 11. Relação entre N mineral ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$) do solo e o $\delta^{15}\text{N}$ (‰) da serapilheira nas sub-parcelas de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015. Para CSS $y=0,68 + (-0,00008x)$; $r^2 < 0,0001$, r^2 ajustado = 0,037; $p=0,99$; para N $y=-1,66+(-0,006x)$, $r^2=0,0006$; r^2 ajustado=0,03; **$p=0,89$** ; para CG $y= -2,48+0,12x$, $r^2=0,14$ r^2 ajustado= 0,11; $p=0,03$

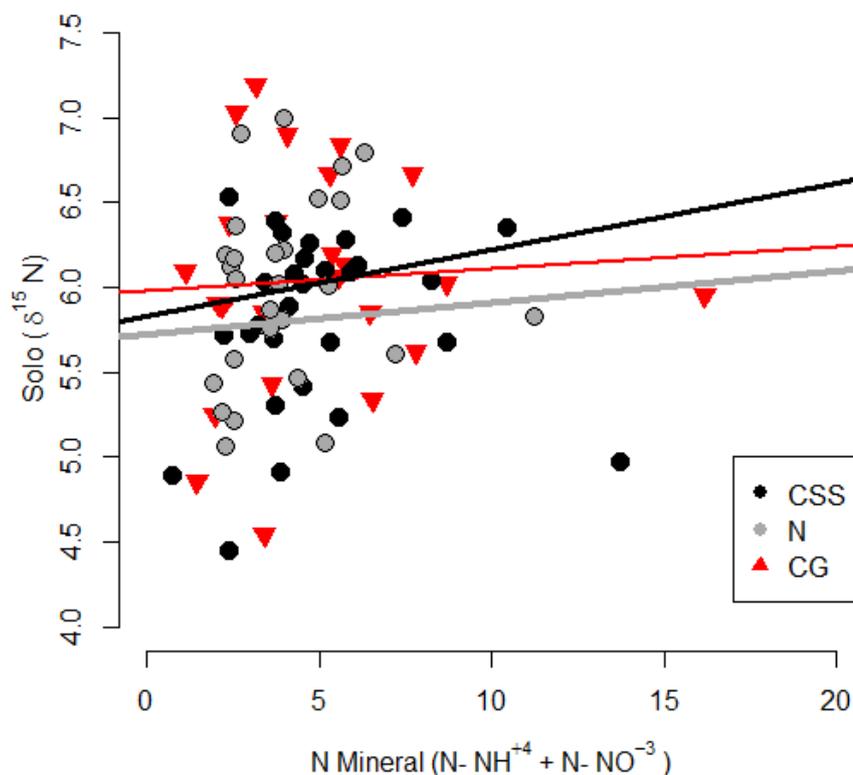


Figura 12. Relação entre N mineral ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$) do solo e o $\delta^{15}\text{N}$ (‰) do solo nas áreas de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pípiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015. Para CSS $y=-5,72+0,01x$; $r^2=0,008$, r^2 ajustado = 0,02; $p=0,63$; para N $y=-5,83+0,03x$, $r^2=0,02$; r^2 ajustado=0,01; $p=0,47$; para CG $y= -5,98+ 0,01x$, $r^2=0,003$ r^2 ajustado = -0,04; $p=0,77$

8.10 Isoscapes $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$

Na isoscapes de $\delta^{15}\text{N}$ do solo, as regiões mais claras indicam maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$, enquanto as regiões mais escuras indicam menores valores. Para a isoscapes de $\delta^{13}\text{C}$ da serapilheira as regiões mais escuras indicam menores valores de $\delta^{13}\text{C}$ enquanto as mais claras indicam maiores valores (Figura 13).

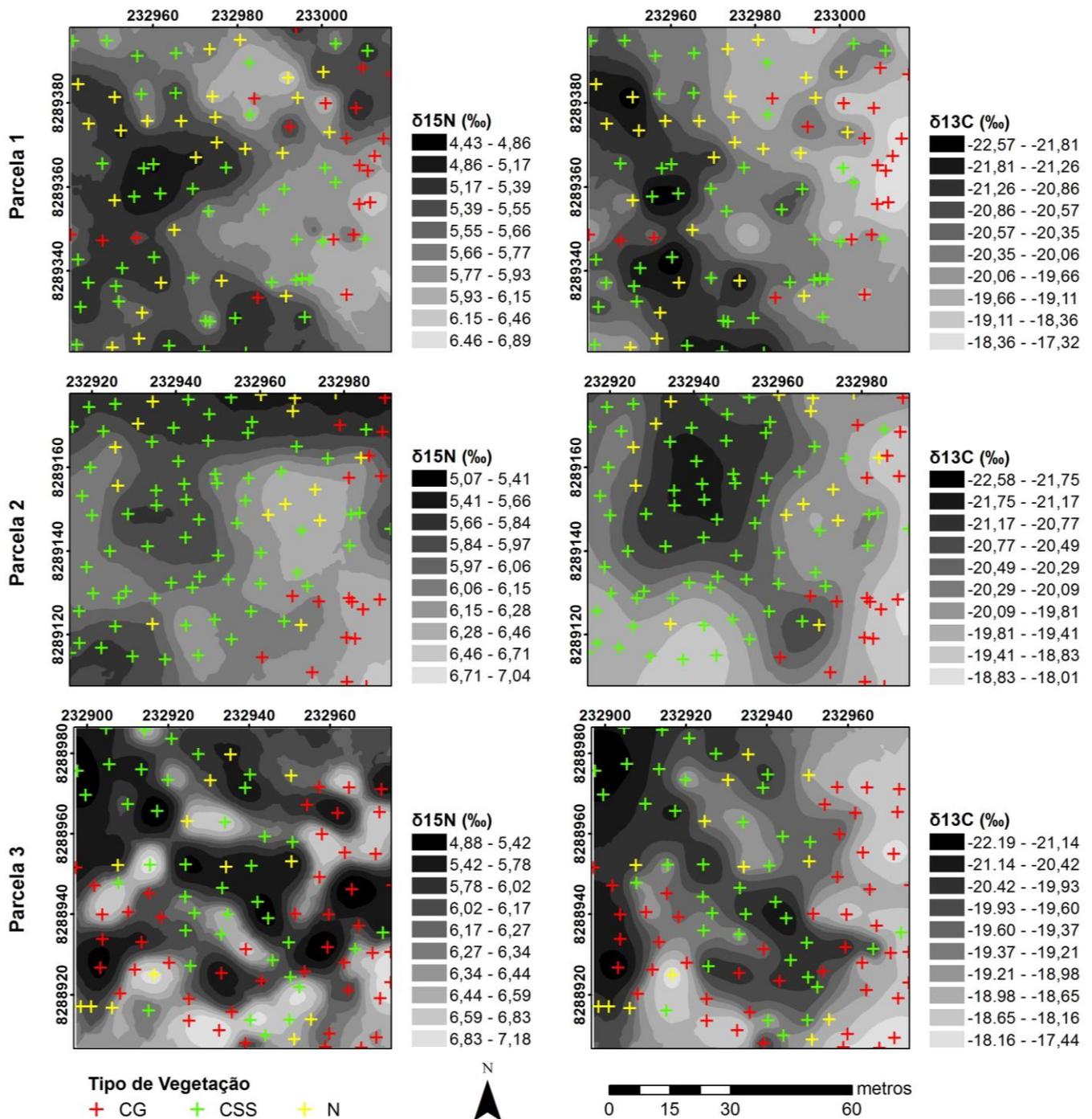
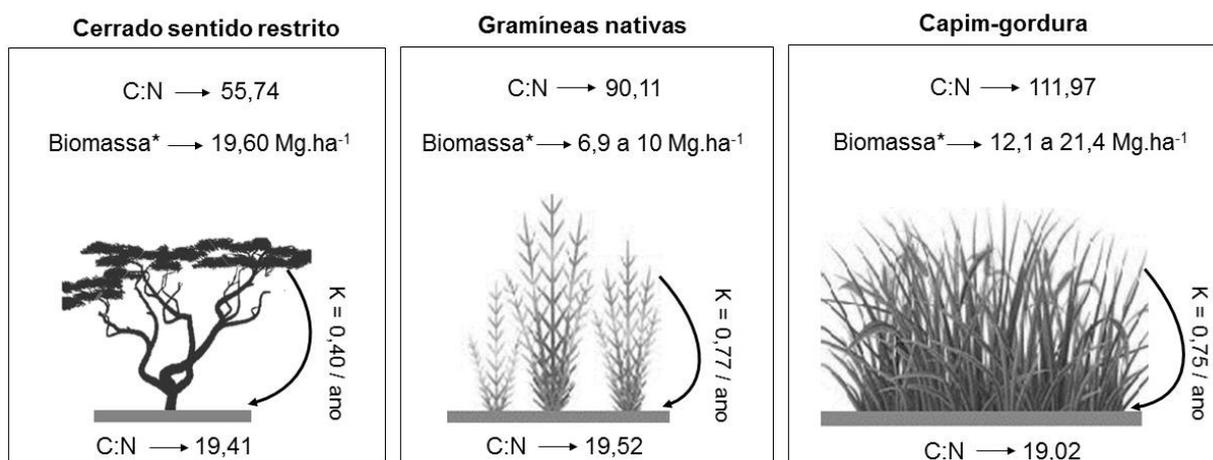


Figura 13. Isoscapes dos dados de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ dos solos de CSS, N e CG em fragmento de cerrado sentido restrito circundado por matriz agrícola na Bacia do Pipiripau, DF, nos meses de maio e junho de 2015

9. Discussão

A taxa de decomposição da serapilheira de capim-gordura é maior do que a de espécies de cerrado sentido restrito e semelhante à de gramíneas nativas. A gramínea invasora possui maior biomassa que as gramíneas nativas e pode chegar a ter maior biomassa que o cerrado sentido restrito, contribuindo para um maior aporte de N total no solo, disponível para ser transformado em N mineral (Figura 14). Essa maior biomassa e taxa de decomposição do capim-gordura pode interferir no ciclo do nitrogênio assim como no do carbono (fluxo) nesse ecossistema.

Solos sob capim-gordura possuem, a longo prazo, uma maior ciclagem de nitrogênio do que solos sob cerrado sentido restrito e gramíneas nativas, ou seja, ocorrem maiores transformações de N no solo e perdas de N para a atmosfera (Figura 15). Ao analisar a dinâmica de nitrogênio a curto prazo, através dos dados de concentração de N-NH_4^+ e N-NO_3^- e das taxas líquidas de mineralização de N e nitrificação, não foi identificado uma mudança na dinâmica de nitrogênio em solos de um fragmento de cerrado sentido restrito invadido por capim-gordura. O maior pH do solo invadido por capim-gordura indica uma possível alteração na razão fungo/bactéria (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006) o que pode aumentar o processo de oxidação de amônio (nitrificação) no solo (Figura 15).



* Dados retirados de : Teodoro, 2014; Martins *et al.*, 2011; Miranda *et al.*, 2004.

Figura 14. Relação entre biomassa, taxa de decomposição e razão C/N do solo e da serapilheira CSS, N e CG.

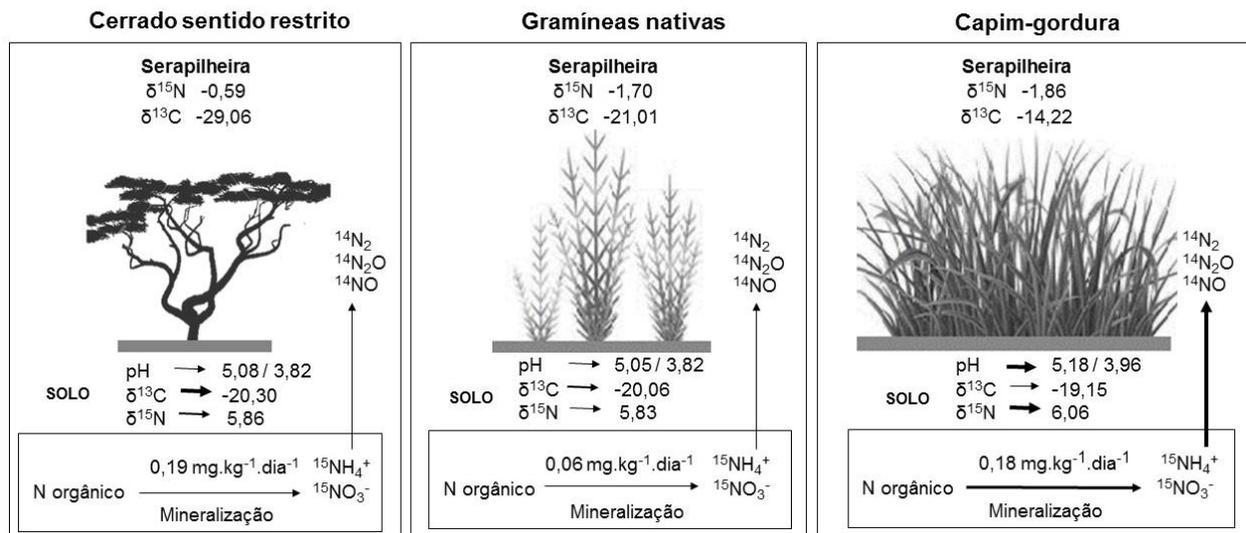


Figura 15. Ciclagem de N em sub-parcelas de CSS, N e CG.

Nas comunidades de plantas do Cerrado é comum encontrar altas taxas de retranslocação de nutrientes e baixas taxas de decomposição da serapilheira (NARDOTO *et al.* 2006), contudo entre espécies nativas de cerrado sentido restrito (gramíneas e arbóreas) e o *Melinis minutiflora*, a gramínea invasora possui serapilheira com maior razão C/N, o que é um indicativo de decomposição inicial mais lenta. Isso pode ser observado através da acentuada perda de massa das gramíneas nativas quando comparada com as espécies arbustiva-arbóreas de cerrado sentido restrito e capim-gordura, pelo menos durante os 60 primeiros dias de decomposição. Após 120 dias de decomposição, gramíneas nativas e capim-gordura apresentam perda de massa semelhante, ao que retrata que mesmo tendo uma decomposição inicial mais lenta, o capim-gordura atinge a mesma taxa de decomposição (Figura 14) das gramíneas nativas.

A taxa de decomposição da serapilheira das espécies arbustiva-arbóreas é menor do que as das gramíneas (nativas e invasora), indicando uma menor velocidade de decomposição desse material, retratando o fato das folhas das espécies arbustiva-arbóreas de cerrado sentido restrito possuírem maiores teores de nutrientes (SCHOLLES; ARCHER, 1997) como os compostos estruturais celulose e lignina que são mais resistentes a decomposição (SWIFT *et al.*, 1979; BEGON *et al.*, 2007).

Apesar de taxas de decomposição semelhantes entre as gramíneas (Figura 15), o capim-gordura possui maior biomassa em relação a vegetação nativa de Cerrado, seja de espécies arbóreas e arbustivas, seja de gramíneas (ROSSI *et al.*,

2009, ROSSI *et al.*, 2014). A maior biomassa de capim-gordura (Figura 14) gera um maior aporte de serapilheira para ser decomposta e conseqüentemente uma maior contribuição desse material na matéria orgânica do solo das áreas de cerrado sentido restrito invadidas. O valor do $\delta^{13}\text{C}$ do solo sob todos os tipos de vegetação indica uma mistura entre fonte C3 e C4 presente na matéria orgânica, contudo o solo sob capim-gordura possui um maior $\delta^{13}\text{C}$, como observado na paisagem isotópica, o que mostra uma maior contribuição de fonte C4 (capim-gordura) na matéria orgânica dos solos dessas áreas.

Apesar de maior, esperava-se que o solo sob capim-gordura mostrasse valores de $\delta^{13}\text{C}$ mais próximos a assinatura C4, quando comparado as áreas que possuem a vegetação nativa. Acredita-se que apesar da decomposição ocorrer de forma mais intensa nas áreas invadidas por capim-gordura, aumentando a entrada de carbono no sistema, não ocorra uma fixação desse carbono no solo, sendo este, possivelmente perdido para a atmosfera. Esse mesmo padrão foi encontrado por Litton *et al.* (2008), ao estudar o efeito da invasão de uma gramínea C4 em uma floresta tropical seca do Havaí. Litton *et al.* (2008) encontraram uma maior velocidade de entrada (decomposição) e saída (atmosfera) de carbono no sistema em áreas invadidas por gramíneas C4, contudo não encontraram diferença no estoque de carbono do solo ao compara-las com as áreas nativa de floresta. Mack e D'Antonio (2003) também não encontraram impacto da invasão de gramíneas exóticas, dentre elas o *Melinis minutiflora*, no estoque de carbono do solo de uma floresta invadida do Havaí.

Áreas de cerrado sentido restrito tem uma baixa produção de serapilheira, consequência da sua vegetação semiaberta de árvores pequenas e espaçadas e de possuir pouca biomassa por unidade de área (ALHO, 1992; BUSTAMANTE *et al.*, 2004; PAIVA *et al.*, 2011). Quando áreas nativas de cerrado sofre invasão biológica por capim-gordura sua biomassa pode ser até 2,4 vezes maior (ROSSI *et al.*, 2009), sendo que na época de floração da gramínea invasora, pode chegar a 2,6 vezes. Martins *et al.* (2011) encontraram em áreas de cerrado altamente colonizadas por capim-gordura (>98%) uma biomassa da gramínea invasora duas vezes maior do que a biomassa do estrato rasteiro de cerrado. Apesar de mais abundante, a biomassa viva de *Melinis minutiflora* não difere em nutrientes (C orgânico, N total, K, Ca, Mg, Al, Mn e Fe) da biomassa viva de gramíneas nativas de cerrado (SILVA; HARIDASAN, 2007). Sua maior produção de biomassa pode estar relacionada com

a alta eficiência no uso do nitrogênio (BARUCH *et al.*, 1996), o que leva a uma maior produção de biomassa por N adquirido, porém não necessariamente está relacionada com as características nutricionais do solo, pois Hoffmann e Haridasan (2008) encontraram maior biomassa para capim-gordura (147% maior) em relação a gramíneas nativas de cerrado independente da concentração de P, C, N, Al, K, Mn e Cu do solo.

Apesar da concentração de nutrientes do solo não influenciar no acúmulo de biomassa por *Melinis minutiflora*, Mack & D'Antonio (2003) alegam que essa gramínea causa modificações químicas na composição da matéria orgânica, umidade e temperatura do solo. Silva (2012) ao comparar o solo rizosférico de *Echinolaena inflexa*, gramínea nativa de Cerrado, e *Melinis minutiflora* encontrou maiores capacidade de troca catiônica (4,28 cmol_c/dm³ a 7,0 cmol_c/dm³), matéria orgânica (54,8 g/kg a 104,3 g/kg) e concentrações de P, K, Ca, Mg disponíveis na rizosfera de *Melinis minutiflora*, características que podem ser atribuídas a uma exploração mais eficiente dos recursos (BARUCH; GOMES, 1996) influenciada pela comunidade bacteriana da rizosfera (SILVA, 2012) e a uma capacidade de resistir melhor a seca (BARUCH; FERNANDES, 1993).

As baixas taxas de decomposição e mineralização da matéria orgânica no Cerrado gera uma baixa disponibilidade de N no solo, o que juntamente com as baixas taxas de nitrificação (NARDOTO; BUSTAMANTE, 2003) e emissões de gases nitrogenados (PINTO *et al.* 2002, 2006; CRUVINEL *et al.*, 2011), caracterizam o ciclo do nitrogênio no Cerrado como conservativo (DAVIDSON *et al.*, 2000). O solo sob a gramínea africana invasora, *Melinis minutiflora*, apresentou diferença na dinâmica de nitrogênio, a longo prazo, quando comparado com os solos sob gramíneas nativas e cerrado sentido restrito. O maior $\delta^{15}\text{N}$ do solo sob capim-gordura caracteriza e reflete uma maior ciclagem de N ao longo do espaço e do tempo, ou seja, reflete maior disponibilidade de N, maiores taxas de transformações de N no solo (ex: mineralização e nitrificação) e maiores entradas e saídas de N no sistema (Figura 15). Esse mesmo padrão não foi encontrado no curto prazo. A ausência de diferença entre concentração de N e das taxas de mineralização e nitrificação líquida de N, entre os solos das áreas estudadas, provavelmente é consequência da realização de uma única coleta no período de transição entre a estação chuvosa e a seca, já que a sazonalidade marcada no Cerrado interfere nos processos e na disponibilidade de N no solo (Bustamante *et al.*, 2006).

A fonte (atmosfera/solo) de obtenção de N pode ser determinada através do valor do $\delta^{15}\text{N}$ da planta, sendo que a razão isotópica de N entre aquelas que fixam N_2 atmosférico e aquelas que obtêm N derivado do solo se distinguem (NADELHOFFER *et al.*, 1996). Quando a planta tem capacidade de realizar fixação biológica de N, o valor do $\delta^{15}\text{N}$ tende a ficar próximo a 0‰, pois esse processo fraciona pouco contra o ^{15}N (EHLERINGER; RUNDELL, 1989; MARTINELLI *et al.*, 2009). Por outro lado, para plantas que não fixam nitrogênio atmosférico o valor varia de acordo com a taxa de mineralização de N no solo (GARTEN; VAN MIEGROET, 1994).

O $\delta^{15}\text{N}$ da serapilheira do capim-gordura e das gramíneas nativas de cerrado sentido restrito apresentaram valores semelhantes. Apesar dos indícios de associação entre bactérias fixadoras de N_2 atmosférico e capim-gordura (PENG *et al.*, 2006), o valor do $\delta^{15}\text{N}$ das serapilheiras indica que essas gramíneas estão obtendo N através da mesma fonte, ou seja, através das formas inorgânicas de N presentes no solo. A magnitude encontrada na discriminação isotópica ($\Delta_{\text{serapilheira-solo}}$) reflete a composição isotópica do N disponível no solo para ser consumido e assimilado (AMUNDON *et al.*, 2003; MARTINELLI *et al.*, 2009; CRAINE *et al.*, 2015). O maior valor de $\Delta_{\text{serapilheira-solo}}$ para capim-gordura pode ser interpretado como uma maior assimilação de NO_3^- do que de NH_4^+ , já que o processo de nitrificação fraciona mais contra o ^{15}N (MARTINELLI *et al.*, 2009) e o nitrato tende a ser mais negativo do que o NH_4^+ e o N orgânico que o originou (SHEARER; KOHL, 1986). A relação positiva entre o $\delta^{15}\text{N}$ da serapilheira e o N-mineral ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$) do solo reafirma a fonte de obtenção de N por capim-gordura. Provavelmente essa mesma relação não foi encontrada para gramíneas nativas e arbustiva-arbóreas de cerrado sentido restrito pelo fato das amostras serem compostas por uma mistura entre as espécies nativas, as quais são sujeitas a diferentes formas de assimilação de N e a diferentes interferências (ex: taxa de decomposição; comunidade de microrganismos) na concentração de N do solo.

O valor de $\delta^{15}\text{N}$ encontrado para a serapilheira de arbustiva-arbóreas de cerrado sentido restrito caracteriza uma mistura de fontes de obtenção de N e é condizente com os valores encontrados por Bustamante *et al.* (2004b) e Nardoto (2005) para espécies de cerrado. Existe uma variabilidade significativa no $\delta^{15}\text{N}$ das plantas lenhosas de cerrado, com valores que variam de -5.0‰ a 7.9‰, o que é atribuído à fatores como: forma de vida da planta (arbustiva/arbórea), capacidade de

fixar N atmosférico e a sazonalidade dos processos de imobilização e mineralização de N nos solos (BUSTAMANTE *et al.*, 2004b).

Através da paisagem isotópica (*isoscaopes*) do solo do fragmento de cerrado sentido restrito foi possível constatar a presença de capim-gordura em áreas com maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$. A relação isotópica do nitrogênio estável é uma medida robusta devido ao seu caráter integrador da dinâmica de N no sistema (HOGBERG, 1997; ROBINSON, 2001; CRAINE *et al.*, 2015), o que exclui a necessidade de fazer medidas pontuais e repetidas sobre os processos que regulam o ciclo do nitrogênio. Os processos de nitrificação e de desnitrificação no solo são os que mais fracionam contra o ^{15}N (MARTINELLI *et al.*, 2009) gerando um aumento no $\delta^{15}\text{N}$ do solo, ou seja, o $\delta^{15}\text{N}$ maior em solo sob capim-gordura indica maiores taxas de nitrificação e de perdas de N para a atmosfera (N_2 , NO , N_2O), a longo prazo, nessas áreas (Figura 15) do que nas áreas nativas de cerrado. Asner & Beatty (1996) e Mack & D'Antonio (2003) em áreas do Havaí invadidas por capim-gordura encontraram maior concentração de N nas áreas de ocorrência da gramínea invasora, corroborando com os dados de $\delta^{15}\text{N}$ encontrado nesse trabalho. Ehrenfeld (2003) ao realizar um levantamento com 17 espécies exóticas, dentre elas o capim-gordura, verificou que 9 causavam aumento do N inorgânico do solo, enquanto 4 diminuía e 4 não interferiam na concentração de N-NH_4^+ e N-NO_3^- . Para a maioria (11 espécies) foi constatado um aumento nas taxas de mineralização e nitrificação.

O pH interfere nas atividades das comunidades microbianas e nos processos biogeoquímicos do solo (CHAPIN, 2011). O baixo valor de pH das áreas nativas de Cerrado juntamente com as baixas taxas de nitrificação, alta razão $\text{N-NH}_4^+/\text{N-NO}_3^-$ (NARDOTO; BUSTAMANTE, 2003; BUSTAMANTE *et al.*, 2006) e insignificantes emissões de N_2O (PINTO *et al.*, 2002) favorecem o estabelecimento dos fungos em relação a bactérias nesses solos. Os resultados de pH encontrados nesse trabalho sugerem um decréscimo da razão fungo/bactéria nos solos das áreas invadidas por capim-gordura.

A espacialização dos dados de pH mostra que as áreas invadidas por capim-gordura estão associadas a maiores valores de pH. O aumento do pH torna o ambiente mais favorável as bactérias em relação aos fungos (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006), dentre elas as bactérias oxidantes do amônio (BOA) (NICOL *et al.*, 2008; PROSSER; NICOL, 2012, CATÃO *et al.*, 2016), as quais são associadas ao processo de nitrificação no solo. Na área de cerrado sentido restrito estudada, o

capim-gordura altera as características naturais de pH do Cerrado e possivelmente favorece as atividades das bactérias e o processo de nitrificação a longo prazo, onde esse aumento do processo de nitrificação pode ser justificado pelo aumento do $\delta^{15}\text{N}$ dos solos sob capim-gordura. Lannes et al. (2015) e Hoffmann e Haridasan (2008), também encontraram um pH significativamente maior ao comparar áreas nativas de cerrado com áreas invadidas por capim-gordura.

Ao comparar uma gramínea nativa de cerrado (capim flexinha) e *Melinis minutiflora*, Silva (2012) mostra que o capim-gordura altera a comunidade bacteriana do solo, aumentando a abundância e restringindo a diversidade. Esse aumento no pH do solo sob capim-gordura fornece evidências de um possível aumento na abundância de BOA em relação as AOA (arqueias oxidantes de amônio) nas áreas de invasão. Ishikawa et al. 2003, ao analisar o efeito inibidor em comunidades de BOA por três gramíneas tropicais (pH solo = 6,0), *Melinis minutiflora*, *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria humidicola*, numa região do Japão, constataram que nem *Melinis minutiflora* nem *Brachiaria decumbens* inibem a nitrificação no solo, pelo contrário, apresentam concentrações significativamente maior de BOA do que *Brachiaria humidicola* e emissões de NO_2 semelhante com a área controle, chegando à conclusão que a inibição da nitrificação não é um fenômeno que atinge todas as pastagens, e sim característico de cada espécie de gramínea.

10. CONCLUSÃO

Os dados encontrados nesse trabalho corroboram com a hipótese inicial de que áreas de Cerrado invadidas por capim-gordura possuem maior disponibilidade e ciclagem de N no solo do que áreas não invadidas de cerrado sentido restrito dominado pelo estrato arbustivo/arbóreo e gramíneas nativas.

11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Áreas impactadas por atividades antrópicas facilitam a entrada do capim-gordura em áreas que deveriam ser preservadas. Segundo a literatura com o passar do tempo as áreas invadidas por essa gramínea vão sendo alteradas e descaracterizadas, tendo sua funcionalidade modificada. Áreas com funcionalidades

modificadas deixam de prestar os serviços ambientais esperados pela vegetação nativa.

Sabe-se que as alterações na paisagem podem modificar a dinâmica de nitrogênio do Cerrado e que as alterações nos processos de ciclagem de nitrogênio e fósforo tem impacto direto sobre a manutenção da biodiversidade desse bioma. Apesar de se ter conhecimento da gravidade e intensidade de invasão biológica por capim-gordura no Brasil e no mundo, na literatura ainda existem poucas informações sobre como essa gramínea interfere na dinâmica de nutrientes dos biomas invadidos.

No Cerrado, os dados do $\delta^{15}\text{N}$ mostram que o capim-gordura disponibiliza mais nitrogênio para o solo ao longo do tempo, oriundos da sua maior biomassa e velocidade de decomposição, quando comparado com as espécies nativas, aumentando assim as taxas de transformações desse elemento no solo (NH_4^+ , NO_3^-), principalmente de nitrificação e de perdas para a atmosfera (NO_x e N_2O).

A alteração que o capim-gordura causa no pH do solo pode beneficiar as comunidades de bactérias, dentre elas as oxidantes de amônio, em relação aos fungos, mais comuns em áreas com pH mais ácido como o Cerrado. Essa possível alteração na razão fungo/bactéria causada por capim-gordura pode favorecer o processo de oxidação do amônio (nitrificação) nessas áreas, alterando a baixa concentração de nitrato característica do Cerrado.

Áreas de capim-gordura possivelmente contribuem com maiores perdas de gases traço (N_2O) para a atmosfera. O óxido nitroso liberado para a atmosfera, (N_2O) causa danos a camada de ozônio, importante mecanismo de proteção da Terra contra a radiação ultravioleta nociva. Possivelmente o capim-gordura também colabora com a adição de CO_2 na atmosfera o que contribui para o aumento do aquecimento global. O óxido nitroso também causa aquecimento global, sendo muito mais eficiente nesse processo do que o CO_2 .

Com isso entende-se que o capim-gordura altera a dinâmica de nitrogênio podendo alterar o pH e a comunidade microbiana em áreas de Cerrado sentido restrito além de poder potencializar a entrada de gases nocivos ao meio ambiente na atmosfera.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N. Os domínios morfoclimáticos na América do Sul: primeira aproximação. **Geomorfologia**, v.53, p.1-23, 1977.
- ALHO, C.J.R. A teia da vida: uma introdução à ecologia brasileira. **Editora Objetiva**, Rio de Janeiro, 160p.1992.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift** .22: 711-728, 2013..
- ALVES, R.P. Carbono no solo e sua relação com a paisagem no Alto São Bartolomeu, região de Cerrado do Brasil Central. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Ecologia. Universidade de Brasília. 107p. 2015.
- ANDERSON, J.M. Responses of soils to climate change. **Advances in Ecological Research**, San Diego, v. 22, p. 63-91,1992.
- ASNER, G.P; BEATTY, S. Effects of na African grass invasion on Hawaiian shrubland nitrogen biogeochemistry. **Plant and Soil**, 186: 205-211, 1996.
- AMUNDSON, R.; AUSTIN, A.T.; SCHUUR, E.A.G.; YOO, K.; MATZEK, V.; KENDALL, C.; UEBERSAX, A.; BRENNER, D.; BAISDEN, W.T. Global patterns of the isotopic composition of soil and plant nitrogen. **Global Biogeochemical Cycles** 17: 1031-1035, 2003.
- ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. Nutrient cycling in florests. **New Phytologist**, New York, v.124, n.4, p. 561-582, Aug. 1993.
- BALDI, G., GUERSCHMAN, J.P., PARUELO, J.M. Characterizing fragmentation in temperate South America grasslands. **Agriculture Ecosystems & Environment** 116, 197-208, 2006.
- BARBOSA, E.G. Eficiência do manejo no controle de duas espécies de gramíneas invasoras em Cerrados Paulistas. **Dissertação de Mestrado**. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de ecologia. 83p. 2009
- BARGER, N.N.; D'ANTONIO, C.M.; GHNEIM, T.; CUEVAS, E. Constraints to colonization and growth of the African grass, *Melinis minutiflora*, in a Venezuelan savanna. **Plant Ecology** 167: 31–43, 2003.

- BARUCH, Z.; LUDLOW, M.M.; DAVIS, R. Photosynthetic responses of native and introduced C4 grasses from Venezuelan savannas. **Oecologia** .67: p. 388-393, 1985.
- BARUCH, Z., FERNÁNDEZ, D.S. Water relations of native and introduced C4 grasses in a neotropical savanna. **Oecologia** 96:179-185, 1993.
- BARUCH, Z. Ecophysiological aspects of the invasion by African grasses and their impact on biodiversity and function of neotropical savannas. **Ecological Studies** 121: 79–93, 1996.
- BARUCH, Z., GÓMEZ, J. Dynamics of energy and nutrient concentration and construction cost in a native and two alien C4 grasses from two neotropical savannas. **Plant and Soil** 181: 175-184, 1996.
- BEGON, M.; TOWNSEND, C.R.; HARPER, J.L. **Ecologia de indivíduos a ecossistemas**. 4ª edição. Porto Alegre: Artmed. 752p , 2007.
- BOGDAN, A.V. **Tropical pasture and folder plants**. Longman, New York. 475p, 1977.
- BOSSARD, C.C.; RANDALL, J.M.; HOSHOVSKY, M., C. (eds). **Invasive plants of California's wildlands**. University of California Press. Berkeley. California. USA. 360p, 2000.
- BOUTTON, T.W.; ARCHER, S.R.; MIDWOOD, A.J.; ZITZER, S.F., BOL, R. $\delta^{13}C$ values of soil organic carbon and their use in documenting vegetation change in a subtropical savanna ecosystem. **Geoderma**. V.82. p.5-41, 1998.
- BOWEN, G.J., WEST, J.B., VAUGHN, B.H., DAWSON, T.E., EHLERINGER, J.R., FOGEL, M.L. Isoscapes to address large-scale earth science challenges. **EOS**, 90, 109–116, 2009.
- BOWEN, G.J. Isoscapes: Spatial Pattern in Isotopic Biogeochemistry. **Annu.Rev. Earth Planet Sci.** 38: 161-187, 2010.
- BRADSHAW, C.J.A.; GIAM, X.; TAN, H.T.W.; BROOK; B.W.; SODHI, N.S. Threat or invasive status in legumes is related to opposite extremes of the same ecological and life-history attributes. **Journal of Ecology** 96: 869–883, 2008.
- BRADY, N.C; WEIL, R.R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos solos**. Tradução técnica: Igor Fernando Lepsch. 3ª edição. Porto Alegre. Bookman. 686p. 2013.

- BRENNER, D.L.; AMUNDSON, R.; BAISDEN, W.T.; KENDALL, C.; HARDEN, J. Soil N and ¹⁵N variation with time in a California annual grassland ecosystem. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Vol. 65, n 22, 4171-4186, 2001.
- BUSTAMANTE, M.M.C.; NARDOTO, G.B.; MARTINELLI, L.A. Aspectos comparativos de ciclaje de nutrientes entre bosques amazónicos de terra-firme y sabanas tropicales (Cerrado brasileiro). In: CABRERA, H.M. (Ed.). **Fisiologia Ecológica en Plantas: mecanismos e respuestas a Estrés en los ecosistemas**. Chile: EUV Valparaíso, p.189-205, 2004.
- BUSTAMANTE, M.M.C.; MARTINELLI, L.A.; SILVA, D.A.; CAMARGO, P.B.; KLINK, C.A.; DOMINGUES, T.F.; SANTOS, R.V. N-15 natural abundance in woody plants and soils of central Brazilian savanas (cerrado). *Ecological Applications*, v.14. p.S200-S213, 2004 b.
- BUSTAMANTE, M.M.C.; MEDINA, E.; ASNER, G.P.; NARDOTO, G.B.; GARCIA-MONTIEL, D.C. Nitrogen cycling in tropical and temperate savanas. **Biogeochemistry**. 79: 209-237, 2006.
- BUSTAMANTE, M.M.C.; NARDOTO, G.B.; JACOBSON, T.K.B. Ciclagem de nitrogênio em áreas nativas de Cerrado: influência do fogo e da adição de nutrientes. In: Mauro Lambert Ribeiro. (Org.). **Reserva Ecológica do IBGE - Biodiversidade terrestre**. 1ed.Brasília: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, v. 1, p. 247-260, 2011.
- BUSTAMANTE, M.M.C.; DE BRITO, D.Q.; KOZOVITS, A.R.; LUEDEMANN, G.; DE MELLO, T.R.B.; PINTO, A.S.; MUNHOZ, C.B.R.; TAKAHASHI, F.S.C. Effects of nutrient additions on plant biomass and diversity of the herbaceous-subshrub layer of a Brazilian savanna (Cerrado). **Plant Ecology** 213: 795–808, 2012.
- CARMO, A.B.do. Efeito da fragmentação de habitat sobre a riqueza de espécies arbustivo-arbóreas do cerrado sensu stricto, no município de Uberlândia, Minas Gerais. **Dissertação de Mestrado**. Instituto de Ciências biológicas. Universidade de Uberlândia. 59p. 2006.
- CARMO, A.B.do; VASCONCELOS, H.L.; ARAÚJO, G.M.de. Estrutura da comunidade de plantas lenhosas em fragmentos de cerrado: relação com o tamanho do fragmento e seu nível de perturbação. **Revista Brasil.Bot.**, v.34, n.1, p. 31-38, 2011.

- CARVALHO, M. M.; FILHO, A. B. da C.; BOTREL, M. de A. Efeito da calagem e da fertilização com fósforo sobre o crescimento do capim-gordura em um solo da Zona Campo das Vertentes, MG. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 22, n. 4, p. 614-623. 1993.
- CARVALHO, F.M.V.; JÚNIOR, P.D.M.; FERREIRA, L.G. The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. **Biological Conservation**.142, p.1392-1403, 2009.
- CATÃO, E.C.P.; LOPES, F.A.C.; RUBINI, M.R.; NARDOTO, G.B.; PROSSER, J.I.; KRUGER, R.H. Short-term impact of soybean management on ammonia oxidizers in a Brazilian savanna under restoration as revealed by coupling different techniques. **Biol Fertil Soils**, Springer-Verlag, 2016.
- CHAPIN, F.S.; MATSON, P.A.; VITOUSEK, P.M. Principles of terrestrial ecosystem ecology. **Springer-Verlag**, 2 ed., New York. 529p. 2011.
- CHEN, D; HUANG, J.; JACKSON, T.J. Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near- and short-wave infrared bands. **Remote Sensing of Environment** **98**, 225- 236, 2005.
- CLEVELAND, C.C.; TOWNSEND, A.R.; SCHIMEL, D.S.; FISHER, H.; HOWARTH, R.W.; HEDIN, L.O.; PERAKIS, S.S.; LATTY, E.F.; VON FISCHER, J.C; ELSEROD, A.;WASSON, M.F. Global patterns of terrestrial biological nitrogen (N-2) fixation in natural ecosystems. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v.13, n.2, p. 623-645, Jun,1999.
- COLETTA, L.D.; NARDOTO, G.B.; LATANSIO-AIDAR, S.R.; et al. Isotopic view of vegetation and carbon and nitrogen cycles in a cerrado ecosystem, southeastern. **Bazil. Sci. Agric.** V.66, n.4, p.467-475, 2009.
- COOK, G.D.; DAWES-GROMADZKI, T.Z. Stable isotope signatures and landscape functioning in banded vegetation in arid-central Australia. **Landscape Ecology** 20: 649-660, 2005.
- COSTA, A.F. Zonação no gradiente vegetacional Cerrado Típico – Campo Sujo-Vereda, na Estação Ecológica de Águas Emendadas, Brasília – DF. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Ecologia. Universidade de Brasília. 85p. 2007.
- COSTA, R. B. (org.). **Fragmentação florestal e alternativas de desenvolvimento rural na Região Centro-Oeste**. Campo Grande: UCDB, 246p., 2003.

- COÛTEAUX, M. M.; BOTTNER, P.; BJORN, B. Litter decomposition, climate and litter quality. **Revista árvore**, v.10, n 2, 63-66, 1995.
- COUTINHO, L.M. O conceito de cerrado. **Rev. Bras. Bot.** 1(1):17-23, 1978.
- COUTINHO, L.M. O conceito de bioma. **Acta Bot. Bras.** 20(1):1-11, 2006.
- CRAINE, J.M.; ELMORE, A.J.; AIDAR, M.P.M.; et al. Global patterns of foliar nitrogen isotopes and their relationships with climate, mycorrhizal fungi, foliar nutriente concentrations, and nitrogen availability. **New Phytologist**.2009.
- CRAINE, J.M.; ELMORE, A.J.; WANG, L.; et al. Convergence of soil nitrogen isotopes across global climate gradients. **Scientific Reports**. 2015.
- CREIGHTON, M.L.; SANDQUIST, D.R.; CORDELL, S. A non-native invasive grass increases soil carbon flux in a Hawaiian tropical dry forest. **Global Change Biology**. v.14. 4:726-739, 2008.
- CRUVINEL, Ê.B.F.; BUSTAMANTE, M.M.C.; KOZOVITS, A.R.K.; ZEPP, R.G. Soil emissions of NO, N₂O and CO₂ from croplands in the savanna region of central Brazil. **Agric Ecosyst Environ** 144:29–40, 2011.
- CURADO, T.F.C.; COSTA, N.M.S. Gramíneas para pastagens cultivadas em Minas Gerais. **Inf.Agropec**. Belo Horizonte, 6 (71): novembro 1980.
- D'ANTONIO, C.M.; HUGHES, R.F.; VITOUSEK, P.M. Factors influencing dynamics of two invasive C₄ grasses in seasonally dry Hawaiian woodlands. **Ecology**. v.82, 1: 89-104, 2001.
- D'ANTONIO, C.M.; MEYERSON, L.A. Exotic plant species as problems and solutions in ecological restoration: a synthesis. **Restoration Ecology**, 10 (4): p. 703-713, December 2002.
- DAVIDSON, E.A.; KELLER, M.; ERICKSON, H.E.; VERCHOT, L.V.; VELDKAMP, E. Testing a conceptual model of soil emissions of nitrous and nitric oxides. **Bioscience**. v.50, n.8, p.667-680, 2000.
- DAVIDSON, E. A.; BUSTAMANTE, M. C.; PINTO, A. S. Emissions of nitrous oxide and nitric oxide from soils of native and exotic ecosystems of the Amazon and Cerrado regions of Brazil. **The Scientific World Journal**, Kirkkonummi:The Scientific World, v. 1, supl. 2, p. 312-319, 2001.
- DAWSON, T.E.; MAMBELLI, S.; PLAMBOECK, A.H.; TEMPLER, P.H.; TU, K.P. Stable isotopes in plant ecology. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics** 33: 507-559, 2002.

- DIDHAM, R.K. Altered leaf-litter decomposition rates in tropical forest fragments. **Oecologia**. v.116, 3 p.397-406, 1998.
- EHRENFELD, J.G. Effects of exotic plant invasions on soil nutrient cycling processes. **Ecosystems**. 6:503-523, 2003.
- EHLERINGER, J.R.; RUNDEL, P.W. Stable isotopes: history, units, and instrumentation. In: RUNDEL, P.W.; EHLERINGER, J.R.; NAGY, K.A. (Eds.). Stable isotopes in ecological research. **Ecological Studies 68**. New York: Springer-Verlag. P-1-15, 1989.
- EHLERINGER, J.R.; THOMPSON, A.H.; PODLESACK, D.W.; BOWEN, G.J.; LESLEY, A.C.; CERLING, T.E.; PARK, T.; DOSTIE, P.; SCHWARCZ, H. A framework for the incorporation of isotopes and isoscapes in geospatial forensic investigations. In: WEST, J.B.; BOWEN, G.J.; DAWSON, T.E.; TU, K.P. **Isoscapes: Understanding Movement, Pattern, and Process on Earth Through Isotope Mapping**. Springer, 2010.
- EITEN, J.; GOODLAND, R. **Ecology and management of semi-arid ecosystems in Brazil**. Reprinted from Management of semi-arid Ecosystems, B.H. Walker (ed.), Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam – Printed in The Netherlands, 1979.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. - 2. ed. rev. atual. - Rio de Janeiro, 212p., 1997.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006.
- ERGUDER, T.H.; BOON, N.; WITTEBOLLE, L.; MARZORATI, M.; VERSTRAETE, W. Environmental factors shaping the ecological niches of ammoniaoxidizing archaea. **FEMS Microbiol Rev** 33:855–869, 2009.
- FAHRIG, L. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity Annual Review of **Ecology and Systematics** 34:487–515, 2003.
- FILGUEIRAS, T.S. Africanas no Brasil. Gramíneas introduzidas da África. **Cadernos de Geociências** 5: p. 57-63, 1990.

- FRANÇA, M. O cerrado e a evolução recente da agricultura capitalista: a experiência de Minas Gerais. **Dissertação de mestrado**. Belo Horizonte, CEDEPLAR, Universidade Federal de Minas Gerais, 169 p., 1984.
- FRANÇA, H.; RAMOS-NETO, M.B.; SETZER, A. O Fogo no Parque Nacional das Emas. Brasília, Ministério do Meio Ambiente. **Série Biodiversidade**, v. 27, 2007.
- GARBIN, M.L.; ZANDEVALLI, R.B. Soil patches of inorganic nitrogen in subtropical Brazilian plant communities with *Araucaria angustifolia*. **Plant Soil**. 286: 323-337, 2006.
- GARTEN, C.T.; VAN MIEGROET, H. Relationships between soil nitrogen dynamics and natural ^{15}N abundance in plant foliage from Great Smoky Mountain National Park. **Canadian Journal of Forest Research**. v.24, n.8, p.1636-1645, 1994.
- GHAZOUL, J., LISTON, K.A. & BOYLE, T.J.B. Disturbance-induced density-dependent seed set in *Shorea siamensis* (Dipterocarpaceae), a tropical forest tree. **J. Ecol.**, 86, 462–473, 1998.
- GILLSON, L.; WALDRON, S.; WILLIS, K.J. Interpretation of soil $\delta^{13}\text{C}$ as an indicator of vegetation change in African savannas. **Journal of Vegetation Science**. 15:339-350, 2004.
- GUIMARÃES, E. N.; LEME, H. J. C. (2002). Caracterização histórica e configuração espacial da estrutura produtiva do Centro-Oeste. In: HOGAN, D. J.; CARMO, R. L.; CUNHA, J. M. P.; BAENINGER, R. (org.). Migração e ambiente no Centro-Oeste. Campinas, NEPO/UNICAMP: **PRONEX**, p. 17-85, 2002.
- GONZÁLEZ, A.; KOMINOSKI, J.S; DANGER, M.; ISHIDA, S.; IWAI, N.; RUBACH, A. Can ecological stoichiometry help explain patterns of biological invasions? **Oikos** 119: 779–790, 2010.
- GRAHAM, B.S.; KOCH, P.L., NEWSOME, S.D., MCMAHON, K.W., AURIOLES, D. Using isoscapes to trace the movements and foraging behavior of top predators in oceanic ecosystems. In: WEST, J.B.; BOWEN, G.J.; DAWSON, T.E.; TU, K.P. **Isoscapes: Understanding Movement, Pattern, and Process on Earth Through Isotope Mapping**. Springer, 2010.
- HARIDASAN, M. Nutrient cycling as a function of landscape and biotic characteristics in the Cerrados of central Brazil. In: MCCLAIN, M. E.; VICTORIA, R. L.;

- RICHEY, J. E. (Ed.). The Biogeochemistry of the Amazon basin. **New York: Oxford Univ. Press.** p. 68-83, 2001.
- HARPOLE, W.S. Resource-ratio theory and the control of invasive plants. **Plant and Soil** 280: 23–27, 2006.
- HAWKES, C.V.; WREN, I.F.; HERMAN, D.J.; FIRESTONE, M.K. Plant invasion alters nitrogen cycling by modifying the soil nitrifying community. **Ecology letters**, 8: 976-985, 2005.
- HEALTON, T.H.E. The $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ratios of plants in South Africa and relationship to climate and coastal/saline environments. **Oecologia**, 74:236-246, 1987.
- HIBBARD, K.; SCHIMEL, D.; ARCHER, S.; OJIMA D.; PARTON, W. Grassland to woodland transitions: integrating changes in landscape structure and biogeochemistry. **Ecological Applications**. 13:911–926, 2003.
- HOBSON, K.A.; BARNETT-JOHNSON, R.; CERLING, T. Using Isoscapes to Track Animal migration. In: WEST, J.B.; BOWEN, G.J.; DAWSON, T.E.; TU, K.P. **Isoscapes: Understanding Movement, Pattern, and Process on Earth Through Isotope Mapping.** Springer, 2010.
- HOFFMANN, W.A.; HARIDASAN, M. The invasive grass, *Melinis minutiflora*, inhibits tree regeneration in a Neotropical savanna. **Austral Ecology**. 33: 29-36, 2008.
- HÖGGER, P. Tansley review no 95: ^{15}N natural abundance in soil-plant systems. **New Phytologist**, 137: 179-203, 1997.
- HOULTON, B.Z.; SIGMAN, D.M.; HEDIN, L.O. Isotopic evidence for large gaseous nitrogen losses from tropical rainforests. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, EUA 103: 8745-8750, 2006.
- HOULTON, B.Z.; SIGMAN, D.M.; SCHUUR, E.A.G.; HEDIN, L.O. A climate driven switch in plant nitrogen acquisition within tropical forest communities. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, EUA 104: 8902-8906, 2007.
- HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, P.; GAO, X.; FERREIRA, L.G. HUETE, A.; LIU, H.Q.; BATCHILY, K. & VAN LEEUWEN, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment** 59, 440- 451, 1997.
- HUGHES, F.; VITOUSEK, P.M. Barriers to shrub reestablishment following fire in the seasonal submontane zone of Hawaii. **Oecologia**. v.93, 4: 557-563, 1993.

- INSTITUTO HÓRUS. Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental. 2012. Disponível em: <http://www.institutohorus.org.br/>. Acesso em: 15/05/2012.
- ISHIKAWA, T.; SUBBARAO, G.V.; ITO, O.; OKADA, K. Suppression of nitrification and nitrous oxide emission by the tropical grass *Brachiaria humidicola*. **Plant and Soil**, 255: 413-419, 2003.
- JACOBSON, T.K.B. Composição, estrutura e funcionamento de um cerrado sentido restrito submetido à adição de nutrientes em médio prazo. **Tese de Doutorado**. Departamento de Ecologia. Universidade de Brasília. 193p., 2009.
- JACOBSON, T.K.B.; BUSTAMANTE, M.M.C.; KOZOVITS, A.R. Diversity of shrub tree layer, leaf litter decomposition and N release in a Brazil Cerrado under N, P and N plus additions. **Environmental Pollution** 159, 2236-2242, 2011.
- JUNIOR, C.C.; PICCOLO, M. de C.; CAMARGO, P. de B.; BERNOUX, M.M.Y.; NETO, M.S. Nitrogênio e abundância natural de ¹⁵N em agregados do solo no bioma Cerrado. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**. Vol 15, Nº.2, p. 47-66, 2011.
- KAPOS, V.; WANDELLI, E.; CAMARGO, J. L.; GANADE, G. Edge-related changes in environment and plant responses due to forest fragmentation in Central Amazonia. In: **Tropical forest remnants: Ecology, management, and conservation of fragmented communities** (W. F. Laurance & R.O. Bierregaard, eds.). Chicago University Press, New York, p.33-44, 1997.
- KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian Cerrado. **Journal of Ecology, London: British Ecological Society**, v. 82, n. 3, p. 519-531, Sept. 1994.
- KING, R. F.; DROMPH, K. M.; BARDGETT, R. D. Changes in species evenness of litter have no effect on decomposition process. **Soil Biology e Biochemistry**, v. 34, 1959-1963, 2002.
- KLINK, C.A.; MACHADO, R.B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**. 1 (1): p. 147-155. 2005.
- KLINK, C. A.; MOREIRA, A. G. Past and current human occupation and land-use. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R.J. (org.) *The Cerrado of Brazil: Ecology and natural history of a neotropical savanna*. New York, Columbia University Press, p. 69-88, 424 p. 2002.

- KOUKOURA, Z.; MAMOLOS, A. P.; KALBURTJI, K. L. Decomposition of dominant plant species litter in a semi-arid grassland. **Applied Soil Ecology**, 23, 13-23, 2003.
- LANNES, L.S.; BUSTAMANTE, M.M.C.; EDWARDS, P.J.; VENTERINK, H.O. Alien and endangered plants in the Brazilian Cerrado exhibit contrasting relationships with vegetation biomass and N:P stoichiometry. **New Phytologist**. 196:816-823, 2012.
- LANNES, L.S.; BUSTAMANTE, M.M.C.; EDWARDS, P.J.; VENTERINK, H.O.; Native and alien herbaceous plants in the Brazilian Cerrado are (co-) limited by different nutrients. **Plant and Soil**. v.400. 1:231-243, 2015.
- LAURANCE, W.F.; DELAMONICA, P.; LAURANCE, S.G.; VASCONCELOS, H.L., LOVEJOY, T.E. Rainforest fragmentation kills big trees. **Nature**, 404:836-836, 2000.
- LAURANCE, W.F.; FERREIRA, L.V.; GASCON, C.; LOVEJOY, T.E. Biomass loss in forest fragments. **Science**, 282:1610-1611. 1998.
- LAURANCE, W.F.; NASCIMENTO, H.E.M.; LAURANCE, S.G.; ANDRADE, A.; RIBEIRO, J.; GIRALDO, J.P.; LOVEJOY, T.E.; CONDIT, R.; CHAVE, J.; HARMS, K.E. & D'ANGELO, S. Rapid decay of tree-community composition in Amazonian forest fragments. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 103: 19010-19014, 2006.
- LAURANCE, W.F.; VASCONCELOS, H.L. Consequências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia. **Oecologia Brasilensis**. 13 (3): 434-451, 2009.
- LEPSCH, I.F. 19 lições de Pedologia. **Oficina de textos**. São Paulo. 2011.
- LORENZI, H. **Plantas Daninhas do Brasil**. Nova Odessa. Ed. Plantarum, 2^o edição. 440 p.1991.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A.; ANJOS, L.H.C. Abundância natural de $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$ em sistemas de manejo conservacionista no Cerrado. **Biosci.J.** v.30.n3, p.604-615, 2014.
- MACCLARAN, M.P.; UMLAUF, M. Desert grassland dynamics estimated from carbon isotopes in grass phytoliths and soil organic matter. **Journal of Vegetation Science**. 11:71-76, 2000.

- MACDONALD, I.A.W. The Invasion of introduced species into nature reserves in topical savanas and dry woodlands. **Biological Conservation**. 44: p. 67-93, 1988.
- MACK, M.C.; D'ANTONIO, C.M. Exotic grasses alter controls over soil nitrogen dynamics in a Hawaiian Woodland. **Ecological Applications**, 13(1), p. 154-166, 2003.
- MARTINELLI, L.A.; OMETTO, J.P.H.B.; FERRAZ, E.S.; VICTORIA, L.R.; DE CAMARGO, P.B.; MOREIRA, M.Z. **Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis**. Editora Oficina de Textos. p.144. 2009.
- MARTINS, C.R.; LEITE, L.L.; HARIDSAN, M. Capim-gordura (*Melinis minutiflora* P.Beauv.), uma gramínea exótica que compromete a recuperação de áreas degradadas em unidades de conservação. **R. Árvore**. Viçosa, MG. 5: p. 739-747, 2004.
- MARTINS, C.R.; Caracterização e manejo da gramínea *Melinis minutiflora* P.Beauv.(Capim-gordura): Uma espécie invasora do Cerrado. **Tese de Doutorado**. Universidade de Brasília, DF, 2006.
- MARTINS, C.R.; HAY, J.D.V.; WALTER, B.M.T.; PROENÇA, C.E.B.; VIVALDI, L.J. Impacto da invasão e do manejo do capim-gordura (*Melinis-minutiflora*) sobre a riqueza e biomassa da flora nativa do Cerrado sentido restrito. **Revista Brasil.Bot.**. V. 34, n.1, p.73-90, 2011.
- MASON, C. F. Decomposition. **Camelot Press**, Southampton, p.58, 1977.
- MAZZARINO M.J., BUFFA E., OLIVA L., NUNEZ A. AND NUNEZ G. Nitrogen mineralization and soil fertility in the dry Chaco ecosystem (Argentina). **Soil Sci. Soc. Am.** 55(2): 515–522.1991.
- METZGER, J.P.; BERNACCI, L.C.; GOLDEMBERG, R. Pattern of tree species diversity in riparian forest fragments of different widths (SE Brazil). **Plant Ecology**. 133: 135-152, 1997.
- METZGER, J. P. Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. **Anais da Academia de Ciências**, V. 71, N. 3, 1999.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Seção de Agrostologia e Alimentação dos Animais. **O capim-gordura**. Rio de Janeiro, 25 p. (Publicação 6), 1943.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Espécies exóticas invasoras: situação brasileira**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Brasília. MMA. 24 p. 2006.

- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Fragmentação de Ecossistemas: Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Brasília. MMA. 510 p. 2003.
- MITIDIERI, J. **Manual de gramíneas e leguminosas para pastos tropicais**. São Paulo: Nobel. Universidade de São Paulo, 1983.
- MICHALSKI, F.; NISHI, I. & PERES, C.A. Disturbancemediated drift in tree functional groups in Amazonian forest fragments. **Biotropica**, 39: 691-701, 2007.
- MOREIRA, F.M.S; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2ª ed. editora UFLA. 729p, 2006.
- MOROSINI, I.B.; KLINK, C. A. Interferência do capim-gordura (*Melinis minutiflora* Beauv) no desenvolvimento de plântulas de embaúba (*Cecropia pachystachya* Trécul). In: Leite, L.L.; Saito, C.H. (eds) Contribuição ao conhecimento ecológico do Cerrado. Brasília: Universidade de Brasília, Dep. de Ecologia, p. 82-86, 1997.
- MUSSO, C.; MIRANDA, H.S.; AIRES, S.S.; BASTOS, A.C.; SOARES, A.M.V.M.; LOUREIRO, S. Simulated post-fire temperature affects germination of native and invasive grasses in cerrado (Brazilian savanna). **Plant Ecology & Diversity**. v.8, 2:219-227, 2015.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature** 403:853-858, 2000.
- NADELHOFFER, K.J.; SHAVER, G.; FRY, B.; GIBLIN, A.; JOHNSON, L.; MCKANE, R. N-15 natural abundances and N use by tundra plants. **Oecologia**. v.107, n.3, p.386-394, 1996.
- NARDOTO, G.B.; BUSTAMANTE, M.M.C. Effects of fire on soil nitrogen dynamics and microbial biomass in savannas of Central Brazil. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira** 38, 955-962, 2003.
- NARDOTO, G. B. Abundância natural de ¹⁵N na Amazônia e Cerrado – implicações para a ciclagem de nitrogênio. 2005. 100 p. **Tese de Doutorado** -Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo - USP, Piracicaba, 2005.
- NARDOTO, G.B.; BUSTAMANTE, M.M.C.; PINTO, A.S.; KLINK, C.A. Nutrient use efficiency at ecosystem and species level in savanna areas of central Brazil and impacts of fire. **Journal of Tropical Ecology**, 22:1–11, 2006.

- NARDOTO, G.B.; OMETTO, J.P.H.B.; EHLERINGER, J.R.; HIGUCHI, N.; BUSTAMANTE, M.M.C.; MARTINELLI, L.A. Understanding the influences of spatial patterns on N availability within the Brazilian Amazon Forest. **Ecosystems**. v.11.8:1234-1246, 2008.
- NEVES, G.; SENA-SOUZA, J. P.; GOMES, M. P.; REATTO, A.; NARDOTO, G. B.; MARTINS, E.M. & JUNIOR, A. F. C. Relação entre a dinâmica da expansão das atividades agropastoris e o relevo da bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu, Planalto Central Brasileiro. In: Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (**SBSR**) 2015.
- NICOL, G. W.; LEININGER, S.; SCHLEPER, C.; PROSSER, J. I. The influence of soil pH on the diversity, abundance and transcriptional activity of ammonia-oxidizing archaea and bacteria. **Environ. Microbiol.** 10:2966–2978, 2008.
- OLIVA, L.; MAZZARINO, M.J.; NUNEZ, G.; et al. Dinamica del nitrogeno y del agua del suelo em um desmonte selectivo em el chaco arido argentino. **Pesq.agropec.bras.** v. 28, n.6, p.7009-718, 1993.
- OLIVEIRA, E.M.P. Distribuição geográfica e taxonomia do capim-gordura (*Melinis minutiflora* Beauv.). **Dissertação de Mestrado**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, 1974.
- PAIVA, A.O.; REZENDE, A.V.; PEREIRA, R.S. Estoque de carbono em cerrado sensu stricto do Distrito Federal. **Revista Árvore**, v.35, n.3, p.527-538, 2011.
- PANETTA, F.D.; TIMMINS, S.M. Evaluating the feasibility of eradication for terrestrial weed incursions. **Plant Protection Quarterly**. 19 (1): p. 5-11, 2004.
- PARSONS, J.J. Spread of African pasture grasses to the America Tropics. **J. Range Manage.** 25: p. 12-17, 1972.
- PENG, G.; WANG, H.; ZHANG, G.; HOU, W.; LIU, Y.; WANG, E.T.; TAN, Z. *Azospirillum melinis* sp. nov., a group of diazotrophs isolated from tropical molasses grass. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, 56: 1263-1271, 2006.
- PENUELAS, J.; FILELLA, I.; BIEL, C.; SERRANO, L.; SAVE, R. The reflectance at the 950-970 nm region as an indicator of plant water status. **International Journal or Remote Sensing** 52, 1669-1675, 1993.
- PICCOLO, M.C.; NEILL, C.; CERRI, C.C. Net nitrogen mineralization and net nitrification along a tropical forest-to-pasture chronosequence. **Plant and Soil** 162: 61-70, 1994.

- PICCOLO, M. C.; NEIL, C.; MELILLO, J.M. N-15 natural abundance in forest and pasture soils of the Brazilian Amazon basin. **Plant and Soil**, Houten: Springer, v. 182, n. 2, p. 249-258, May 1996.
- PINTO, A.S.; BUSTAMANTE, M.M.C.; KISSELLE, K.; BURKE, R.; ZEPP, R.; VIANA, L.T.; VARELLA, R.F.M.; MOLINA, M. Soil emissions of N₂O, NO, and CO₂ in Brazilian Savannas: Effects of vegetation type, seasonality, and prescribed fires. **J Geophys Res** 107:1–9, 2002.
- PINTO, A.S.; BUSTAMANTE, M.C.; DA SILVA, M.R.S.S.; KISSELLE, K.W.; BROSSARD, M.; KRUGER, R.; ZEPP, R.G.; BURKE, R.A. Effects of different treatments of pasture restoration on soil trace gas emissions in the cerrados of Central Brazil. **Earth Interact.** 10:1–26, 2006.
- PIVELLO, V.R.; CARVALHO, V.M.C.; LOPES, P.F.; PECCININI, A.A.; ROSO, S. Abundance and distribution of native and alien grasses in a “cerrado” (Brazilian savanna) biological reserve. **Biotropica**. 31 (1): p. 71-82, 1999a.
- PIVELLO, V.R.; SHIDA, C.N.; MEIRELLES, S.T. Alien grasses in Brazilian savannas: a treat to the biodiversity. **Biodiversity and Conservation**. 8, (9): p. 1281-1294. 1999b.
- PIVELLO, V.R. Invasões Biológicas no Cerrado Brasileiro: Efeitos da Introdução de Espécies Exóticas sobre a Biodiversidade. **ECOLOGIA. INFO** 33. 2011. Disponível em: <http://www.ecologia.info/cerrado.htm>. Acesso 07/04/2012.
- PROSSER, J.; NICOL, G. Archaeal and bacterial ammoniaoxidisers in soil: the quest for niche specialisation and differentiation. **Trends Microbiol** 20:523–531, 2012.
- RASCHER, K. G, HELLMANN, C., MÁGUAS, C., WEMER, C. Community scale 15 N isoscapes: tracing the spatial impact of an exotic N₂-fixing invader. **Ecology Letters**, 15: 484-491, 2012.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>. 2015.
- REATTO, A.; MARTINS, E.S.; SPERA, S.T.; FARIAS, M.F.R.; SILVA, A.V.; CARVALHO Jr.; O.A.; GUIMARÃES, R.F. **Levantamento detalhado dos solos da bacia hidrográfica do Córrego Taguatinga, DF, escala 1:25.000**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.

- REIS, M. J. de O. dos. Eficiência micorrízica em plantas nativas do Cerrado. 1999. 103 p. **Tese de Doutorado**. Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade de Brasília - UnB, Brasília, DF, 1999.
- ROBINSON, D. $\delta^{15}\text{N}$ as an integrator of the nitrogen cycle. **Trends in Ecology and Evolution** 16: 153-162, 2001.
- RODOVALHO, N.L.; NARDOTO, G.B. Distribuição dos trabalhos sobre capim-gordura no território brasileiro: uma análise histórico-espacial. **Espaço&Geografia**, Vol.17, Nº 1, 97:113, 2012.
- ROSSI, R.D.; FIGUEIRA, J.E.C; MARTINS, C.R.; VIANA, P.L; SANTOS, F.C. Capim-gordura afetando a vegetação campestre e a biomassa total no Parque Estadual da Serra do Rola – Moça, MG. **Anais do IX Congresso de Ecologia do Brasil**, 13 a 17 de Setembro de 2009, São Lourenço – MG.
- ROSSI, R.D.; MARTINS, C.R.; VIANA, P.L.; RODRIGUES, E. L.; FIGUEIRA, J.E.C. Impacto f invasion by molasses grass (*Melinis minutiflora* P. Beauv.) on native species and on fires in áreas of campo-cerrado in Brazil. **Acta Botanica Brasilica** 28 (4): 631-637, 2014.
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt: NASA SP-351, 301–317, 1973.
- SARAIVA, O. F.; CARVALHO, M. M.; OLIVEIRA, F. T. T de. Nutrientes limitantes ao crescimento de capim-gordura em um Latossolo Vermelho-Amarelo álico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 8, p. 963-968. 1993.
- SANTOS, M.A.; BARBIERI, A.F; CARVALHO, J.A.M.; MACHADO,C.J. O Cerrado brasileiro: notas para estudo. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar.15p.texto para discussão, 387, 2010.
- SALIM, C. A. As políticas econômica e tecnológica para o desenvolvimento agrário das áreas de cerrados no Brasil: avaliação e perspectivas. Brasília, **Caderno de Difusão Tecnológica**, v. 3, n. 2, maio/ago 1986, p. 297-342, 1986.
- SCHELLAS, J.; GREENBERG, R. Forest patches in tropical landscapes. Washington; **Island Press**, 426p., 1997.
- SCHMIDT, S.; STEWART, G.R. $\delta^{15}\text{N}$ values of tropical savana and monsoon forest species reflect root specialisations and soil nitrogen status. **Oecologia**, 134:569-577, 2003.

- SCHOLLES, R.J.; ARCHER, S.R. Tree-grass interactions in savannas. **Ann. Rev. Ecol.Syst.**, 28 : 517:544, 1997.
- SENA-SOUZA, J.P. Utilização de parâmetros do relevo para a subdivisão fisiográfica da bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu. **Trabalho de Conclusão de curso**. Universidade de Brasília. 2013.
- SHEARER, G.; KOHL, D.H. N-2-Fixation in field settings – Estimations based on natural N-15 abundance. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.13, n.6, p.699-756, 1986.
- SHIKI, S. Sistema agroalimentar no Cerrado brasileiro: caminhando para o caos? In: SILVA, J. G.; SHIKI, S.; ORTEGA, A. C. (orgs) Agricultura, meio ambiente e sustentabilidade do Cerrado brasileiro. Uberlândia, UFU, 372 p.1997.
- SILVA, M.R.S.S. Diversidade de comunidades bacterianas de solo de Cerrado em resposta a diferentes alterações dos ecossistemas. **Tese de doutorado**. Universidade de Brasília. 2012.
- SILVA, J.S.O; HAARIDASAN, M. Acúmulo de biomassa aérea e concentração de nutrientes em *Melinis minutiflora* P. Beauv. E gramíneas nativas do cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, Vol.30, N.2,p.337-344, 2007.
- SIQUEIRA, K.P. Mineralização de nitrogênio em área de campo sujo: efeito do fogo. **Tese de doutorado**. Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, 2001.
- SKERMAN, P. J. RIVERS, F. R. Gramineas tropicales. Colección FAO: Producción y **Protección Vegetal**, 23. Roma: FAO, 849p.1992.
- SOUZA, A.; SANDRIN, C.Z.; CALIÓ, M.F.A.; MEIRELLES, S.T.; PIVELLO, V.R.; FIGUEIREDO-RIBEIRO, R.C.L. Seasonal variation of soluble carbohydrates and starch in *Echinochloa inflexa*, a native grass species from the Brazilian savanna, and in the invasive grass *Melinis minutiflora*. **Braz. J. Biol.**, vol. 70, no. 2, p. 395-404, 2010.
- STEPHEN, J.R.; KOWALCHUK, G.A.; BRUNS, M.; MCCAIG, A.E.; PHILLIPS, C.J.; EMBLEY, T.M.; PROSSER, J.. Analysis of β -subgroup proteobacterial ammonia oxidizer populations in soil by denaturing gradient gel electrophoresis analysis and hierarchical phylogenetic probing. **Applied and Environmental Microbiology** 64:2958–2965, 1998.
- SWIFT, M.J; HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M. Decomposition in terrestrial ecosystems. University of California Press, Berkley, CA.

- TABARELLI, M.; MANTOVANI, W.; PERES, C.A. Effects of habitat fragmentation on plant guild structure in the montane Atlantic forest of southeastern Brazil. **Biological Conservation** 91: 119-127, 1999.
- TORBICK, N.M., QI, J.G., ROLOFF, G.J., STEVENSON, R.J. Investigating impacts of land-use land cover change on wetlands in the Muskegon River Watershed, Michigan, USA. **Wetlands** 26, 1103-1113, 2006.
- VAN KLEUNEN, M; RICHARDSON, D.M. Invasion biology and conservation biology: time to join forces to explore the links between species traits and extinction risk and invasiveness. **Progress in Physical Geography** 31: 447–450, 2007.
- VASCONCELOS, H.L.; LAURANCE, W.F. Influence of habitat, litter type, and soil invertebrates on leaf-litter decomposition in a fragmented Amazonian landscape. **Oecologia**. v.144, 3, p.456-462, 2005.
- VIANA, V.M; TABANEZ, A.A.J. Biology and conservation of forest fragments in the Brazilian Atlantic moist forest. In: Forest patches in tropical landscapes. Washington: **Island Press**, p.151-167, 1996.
- VITOUSEK, P.M. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. **American Naturalist**. New York, v.119, n. 4, p.553-572, 1982.
- VITOUSEK, P. M., J. D. ABER, R. W. HOWARTH, G. E. LIKENS, P. A. MATSON, D. W. SCHINDLER, W. H. SCHLESINGER, AND D. G. TILMAN. Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. **Ecological Applications**. V.7. p.737-750. 1997.
- WEST, J.B., SOBEK, A., EHLERINGER, J.R. A simplified GIS approach to modeling global leaf water isoscapes. **PLoS ONE**, 3, e2447, 2008.
- WEST, J.B., BOWEN, G.J., DAWSON, T.E. & Tu, K.P. **Isoscapes: Understanding Movement, Pattern, and Process on Earth through Isotope Mapping**. Springer, New York, NY, 2010.
- WILCKE, W.; LILIENFEIN, J. Soil Carbon-13 Natural abundance under native and managed vegetation in Brazil. **Soil Science Society of America**. v.68. p.827-832, 2004.
- YU, Z.; ZHANG, Y.; LUO, W.; WANG, Y. Root colonization and effect of biocontrol fungus *Paecilomyces lilacinus* on composition of ammonia-oxidizing bacteria, ammonia oxidizing archaea and fungal populations of tomato rhizosphere. **Biol Fertil Soils** 51:343–351, 2014.