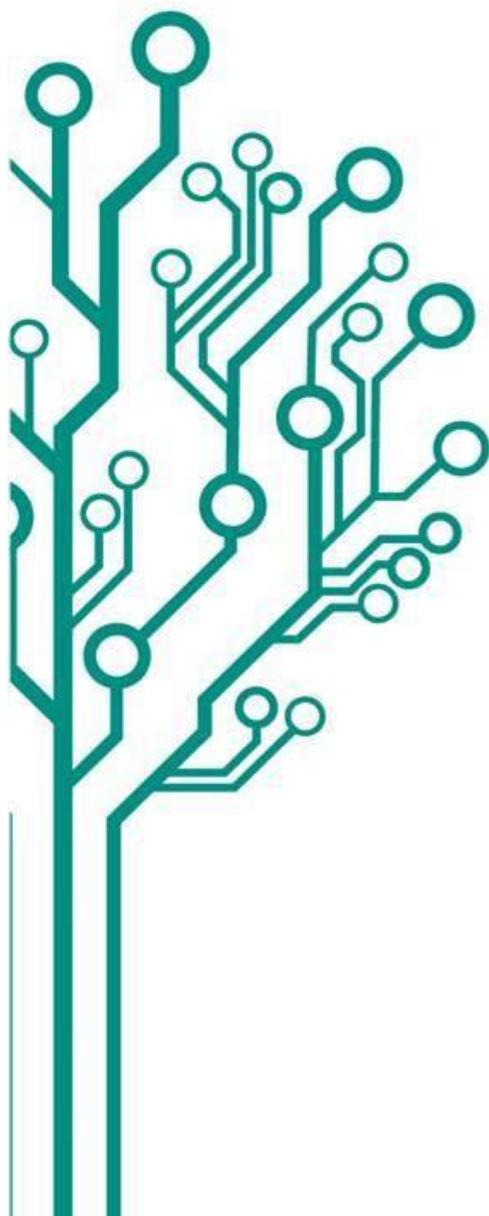


**Mestrado Profissional**  
**Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais**



**CONTROLE QUÍMICO DE  
GRAMÍNEAS EXÓTICAS E  
IMPACTO AMBIENTAL DE  
HERBICIDAS NA FLORESTA  
NACIONAL DE CARAJÁS.**

**ALEXANDRE FRANCO CASTILHO**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais do Instituto Tecnológico Vale (ITV).

Orientador: Nei de Melo Rivello.  
Co-Orientador: Rafael Gomes Viana

Belém-PA  
2015

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Biblioteca do ITV – Belém-PA**

C352c

Castilho, Alexandre Franco

Controle químico de gramíneas exóticas e impacto ambiental de herbicidas na Floresta Nacional de Carajás / Alexandre Franco Castilho -- Belém-PA, 2015.

67 f.: il.

Dissertação (mestrado) -- Instituto Tecnológico Vale, 2015.

Orientador: Dr Nei de Mello Rivello.

1. Plantas daninhas. 2. Herbicida. 3. Bioindicador microbiano.  
4. Impacto ambiental Título.

CDD 23. ed. 632.5

# ALEXANDRE FRANCO CASTILHO

## CONTROLE QUÍMICO DE GRAMÍNEAS EXÓTICAS E IMPACTO AMBIENTAL DE HERBICIDAS NA FLORESTA NACIONAL DE CARAJAS.

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável do Programa de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais do Instituto Tecnológico Vale (ITV).

Data da aprovação:

Banca examinadora:

---

Nei de Melo Rivello  
Orientador – Vale

---

Dr. Rafael Gomes Viana  
Co-orientador – Universidade Federal Rural da Amazônia

---

Dr. Antonio Eduardo Furtini Neto  
Instituto Tecnológico Vale

---

Dr. Rafael de Paiva Salomão  
Membro Externo – Museu Paraense Emilio Goeldi

## DEDICATÓRIA

Àquela que me abriu as portas da Amazônia  
querida Carmen Christina.  
*"In memoriam"*

## **AGRADECIMENTOS**

Obrigado Deus!

Aos meus Anjos da Guarda, Santos e entidades protetoras.

O Agradecimento é a memória do coração. (Lao Tsé)

À Márcia, Daniel e André, pais, irmãos e demais familiares por todo apoio, amor e compreensão.

À D. Olga, do Paraíso, como a representante d'aquelas inumeráveis pessoas que me acolhem, dão suporte e principalmente lições de vida.

À Vale pela oportunidade.

Obrigado Marlene Costa.

Ao meu orientador Nei Rivello.

Ao Grupo de Manejo Integrado de Plantas Daninhas na Amazônia: professores Rafael Gomes Viana e Joseane Moutinho Viana, estudantes Maílson Oliveira, Cintia Marega, Yanna Costa, Roberthi Teixeira, Gabriel Rodrigues, Raildo Braga, Djavan Valentin, Midiã Albuquerque, Amanda Kaline, Renata Santos e Tayla Sousa.

Aos colegas da labuta.

Aos pesquisadores pelas críticas e ensinamentos.

Aos Doutores da Banca de Avaliação por suas contribuições.

A todos do Instituto Tecnológico Vale.

Ao João Carlos Coelho Henriques, amigo imprescindível e inestimável.

Àqueles que nos ajudam anonimamente... Muito Obrigado!

“Mestre não é quem sempre ensina,  
mas quem de repente aprende”.  
Guimarães Rosa.

Acorde.  
Recorde.  
Lembre-se que você é um homem que veio de uma estrela,  
está em uma estrela e irá para outra estrela.  
Pouse suavemente.  
Os mensageiros orientam.

Hermes Trimegistro 3000 A.C.

## RESUMO

A ocorrência de fauna e flora exótica em determinados ambientes são potencialmente danosos às espécies e relações de cadeias tróficas, podendo causar impactos ambientais de grande magnitude. Na Floresta Nacional (FLONA) de Carajás há ocorrência de diversas espécies de gramíneas exóticas, principalmente as do gênero *Urochloa*, que se adaptaram muito bem às condições da região. Tal fato preocupa os órgãos ambientais em função da ameaça destas espécies à biodiversidade. O controle de plantas do gênero *Urochloa* tem grande eficiência por meio do uso de herbicidas com a molécula glyphosate. Em face deste contexto, objetivou-se avaliar o controle químico de gramíneas exóticas, presentes na Floresta Nacional de Carajás e o respectivo impacto de herbicidas na microbiota do solo. Foram realizados dois experimentos com o objetivo de avaliar: i) o efeito de diferentes formulações e doses crescentes de glyphosate no controle de *Urochloa humidicola* e *Urochloa brizantha* e ii) a atividade microbiana do solo como bioindicador do impacto ambiental de glyphosate. O primeiro experimento foi realizado em duas áreas experimentais no interior da FLONA de Carajás, sendo uma com ocorrência de *Urochloa humidicola* e outra com *U. brizantha*. Foram utilizados blocos experimentais de 4 x 7 m (28 m<sup>2</sup>) onde se procedeu à aplicação dos tratamentos. Foram utilizadas três formulações comerciais de glyphosate (Roundup Original<sup>®</sup>, Roundup Ultra<sup>®</sup> e Roundup WG<sup>®</sup>) nas dosagens de 0; 240; 480; 720 e 1440 g de ingrediente ativo em equivalente ácido ha<sup>-1</sup>. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições. Para eficiência de controle, foi utilizada avaliação visual dos sintomas de toxicidade, atribuindo-se notas de acordo com os sintomas de toxidez na parte aérea das plantas, com base em escala variando de 0 a 100%, sendo que 0% representa nenhuma injúria e 100%, a morte das plantas. A melhor dose foi estabelecida como sendo aquela que proporcionasse 90% de controle. Foram ajustadas equações de regressão para explicar o fenômeno biológico das variáveis avaliadas. No segundo experimento foi feita coleta de solo de 0 a 10 cm, em área experimental no interior da FLONA de Carajás, com posterior peneiramento e secagem ao ar. Vasos plásticos com volume de 800 ml foram revestidos com sacos plásticos de polipropileno e preenchidos com 500 g de

solo oriundo dos mesmos tratamentos do primeiro experimento, sendo avaliado o seu efeito sobre a atividade microbiana em dois momentos: logo após a aplicação e no 28º dia. Foram analisados o Carbono da Biomassa Microbiana (CBM), a respiração microbiana e o quociente metabólico. Foi feita análise de variância a 5% de probabilidade pelo teste F e comparação das médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias distintas da testemunha (dosagem 0) foram consideradas como impacto do herbicida na atividade microbiana. No primeiro experimento foi observado em todas as situações, um incremento no percentual de controle de plantas de *U. humidicola* e *U. brizantha* com o aumento das doses dos herbicidas com posterior estabilização. Para *U. humidicola* a menor dose que proporcionou 90% de controle foi de 318 g i.a. em equivalente ácido ha<sup>-1</sup> da formulação Roundup Ultra<sup>®</sup> enquanto para *U. brizantha* a menor dose que proporcionou 90% de controle foi a de 873 g i.a. em equivalente ácido ha<sup>-1</sup> da formulação Roundup WG<sup>®</sup>. No segundo experimento não foi observado impacto negativo do uso de qualquer dose e formulação estudada na atividade microbiana do solo.

**Palavras-chave:** Plantas daninhas. Herbicida. Bioindicador. Impacto ambiental.

## ABSTRACT

The occurrence of exotic flora and fauna in certain environments are potentially harmful to the species and relations trophic chains, may cause environmental impacts of great magnitude. In Carajás National Forest there occurrence of several species of exotic grasses, especially the genus *Urochloa*, which has adapted very well in the conditions of the region. This fact worries environmental agencies due to the threat of these species to biodiversity. The control of *Urochloa* plants genre has great efficiency through the use of herbicide to glyphosate molecule. Given this context, aimed at evaluating the chemical control of exotic grasses present in the Carajás National Forest. Two experiments were conducted in order to assess: i) The effect of different formulations and increasing doses of glyphosate in control of *Urochloa humidicola* and *Urochloa brizantha* and ii) Soil microbial activity as bio-indicator of the environmental impact of glyphosate. The first experiment was conducted in two experimental areas within the National Forest of Carajás, one with occurrence of *Urochloa humidicola* and one with *U. brizantha*. Experimental blocks were used in a 4 m x 7 m (28 m<sup>2</sup>) where we proceeded to treatment application. Three commercial formulations of glyphosate were used (Roundup Original<sup>®</sup>, Roundup Ultra<sup>®</sup> and Roundup WG<sup>®</sup>) at doses of: 0; 240; 480; 720 and 1440 g of active ingredient in equivalent acid ha<sup>-1</sup>. The experimental design was randomized blocks with four replications. To control efficiency, was used visual toxicity evaluation of symptoms, assigning notes according to the symptoms of toxicity in the aerial part, in base ranging from 0 to 100%, with 0% representing no injury and 100% plant death. The best dose was established as that which provided 90% control. Regression equations were adjusted to account for the biological phenomenon in the evaluated variables. In the second experiment it was done soil collection 0-10 cm in the experimental area inside the FLONA Carajás, with subsequent screening and air-drying. Plastic pots with a volume of 800 ml were coated with polypropylene plastic bags, filled with 500 g of soil, the same treatments of the first experiment, being evaluated its effect on microbial activity in two moments which were subsequently applied: immediately after application and 28 days after application. They analyzed the microbial biomass carbon (MBC), microbial respiration and metabolic quotient. It was made analysis of variance at 5% probability by F test and comparison of means by Tukey test at 5% probability. Distinct medium of the

testimony (dose 0.00) were considered to impact of the herbicide on the microbial activity. In the first trial was observed in all cases, an increase in the percentage of control plants *U. humidicola* and *U. Brizantha* with increasing doses of herbicides with subsequent stabilization. To *U. humidicola* the lowest dose which gave 90% control was 318 g a.i. in equivalent acid ha<sup>-1</sup> of Roundup Ultra<sup>®</sup> formulation. For *Urochloa Brizantha* the lowest dose which gave 90% control was 873 g a.i. in equivalent acid ha<sup>-1</sup> of Roundup WG<sup>®</sup> formulation. In the second experiment it was not observed negative impact of the use of any dose and formulation studied the soil microbial activity.

**Keywords:** Weeds. Herbicide. Bioindicator. Environmental impact.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Unidades de Conservação do Mosaico de Carajás circundado por áreas antropizadas do entorno. Fonte: (GABAN – Vale, 2015). .....	20
Figura 2 – Ilustração morfológica de <i>Urochloa brizantha</i> (A) e <i>U. humidicola</i> (B). Fonte: Tropical forages (2015). .....	27
Figura 3 – Porcentagem de controle de <i>Urochloa humidicola</i> (A) e <i>Urochloa brizantha</i> (B) em função de diferentes doses de glyphosate da formulação comercial Roundup Original® .....	42
Figura 4 – Porcentagem de controle de <i>Urochloa humidicola</i> (A) e <i>Urochloa brizantha</i> (B) em função de diferentes doses de glyphosate da formulação comercial Roundup Ultra® .....	43
Figura 5 – Porcentagem de controle de <i>Urochloa humidicola</i> (A) e <i>Urochloa brizantha</i> (B) em função de diferentes doses de glyphosate da formulação comercial Roundup WG® .....	43
Figura 6 – Atividade respiratória aos 0 e 28 dias após a aplicação do herbicida Roundup Original®, nas doses: 0, 240, 480 720 e 1440 g ia ha <sup>-1</sup> . Não significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.....	50
Figura 7 – Atividade respiratória aos 0 e 28 dias após a aplicação do herbicida Roundup Ultra®, nas doses: 0, 240, 480 720 e 1440 g ia ha <sup>-1</sup> . Não significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.....	50
Figura 8 – Atividade respiratória aos 0 e 28 dias após a aplicação do herbicida Roundup WG®, nas doses: 0, 240, 480 720 e 1440 g ia ha <sup>-1</sup> . Não significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.....	51
Figura 9 – Carbono da biomassa microbiana (CBM) aos 0 e 28 dias após a aplicação do herbicida Roundup Original®, nas doses: 0, 240, 480 720 e 1440 g ia ha <sup>-1</sup> . Não significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. ....	52
Figura 10 – Carbono da biomassa microbiana (CBM) aos 0 e 28 dias após a aplicação do herbicida Roundup Ultra®, nas doses: 0, 240, 480 720 e 1440 g ia ha <sup>-1</sup> . Não significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.....	52
Figura 11 – Carbono da biomassa microbiana (CBM) aos 0 e 28 dias após a aplicação do herbicida Roundup WG®, nas doses: 0, 240, 480 720 e 1440 g ia ha <sup>-1</sup> . Não significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.....	53
Figura 12 – Quociente metabólico ( $qCO_2$ ) aos 0 e 28 dias após a aplicação do herbicida Roundup Original®, nas doses: 0, 240, 480 720 e 1440 g ia ha <sup>-1</sup> . Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si em uma mesma época de aplicação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ....	54
Figura 13 – Quociente metabólico ( $qCO_2$ ) aos 0 e 28 dias após a aplicação do herbicida Roundup Ultra®, nas doses: 0, 240, 480 720 e 1440 g ia ha <sup>-1</sup> . Não significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.....	55
Figura 14 – Quociente metabólico ( $qCO_2$ ) aos 0 e 28 dias após a aplicação do herbicida Roundup WG®, nas doses: 0, 240, 480 720 e 1440 g ia ha <sup>-1</sup> . Não significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. ....	55

Figura 15 – Detalhe do alinhamento de piquetes pelo método de alinhamento por medidas de triângulo retângulo. ....	58
Figura 16 – Detalhe da pesagem do herbicida Roundup Ultra® em uma balança Analítica de precisão. Delimitação da área experimental em linha vermelha (Google Earth®). ....	58
Figura 17 – Detalhe da aplicação de herbicida. Verifica-se nas imagens a barra de aplicação, a vestimenta dos aplicadores com EPI'S para aplicação de agrotóxicos e o balizamento realizado para maior precisão da aplicação. ....	59
Figura 18 – Análise de fitotoxidez por meio de diagnóstico visual conforme a metodologia adotada pro Frans (1979). ....	59
Figura 19 – Coleta de solo da camada de 0-10 cm e secagem de amostras de solo .....	60
Figura 20 – Revestimento de vasos com sacos de polietileno e preenchimento com solo peneirado e seco ao ar. ....	600

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos. ....	40
Tabela 2 – Descrição dos tratamentos. ....	47
Tabela 3 – Análise química de solo da unidade experimental de Carajás. ....	48
Tabela 4 – Análise granulométrica de solo da unidade experimental de Carajás. ....	48
Tabela 5 – Dados brutos da porcentagem de controle de <i>Urochloa humidicola</i> por diferentes doses e formulações comerciais de glyphosate. ....	61
Tabela 6 – Dados brutos da porcentagem de controle de <i>Urochloa brizantha</i> por diferentes doses e formulações comerciais de glyphosate. ....	62
Tabela 7 – Análise de variância da atividade respiratória aos 0 dias após a aplicação do herbicida. ....	64
Tabela 8 – Análise de variância da atividade respiratória aos 28 dias após a aplicação do herbicida. ....	64
Tabela 9 – Análise de variância do carbono da biomassa microbiana aos 0 dias após a aplicação do herbicida. ....	64
Tabela 10 – Análise de variância do carbono da biomassa microbiana aos 28 dias após a aplicação do herbicida. ....	64
Tabela 11 – Análise de variância do quociente metabólico aos 0 dias após a aplicação do herbicida. ....	65
Tabela 12 – Análise de variância do quociente metabólico aos 28 dias após a aplicação do herbicida. ....	65

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

® – Marca Registrada.

Al – Alumínio.

BaCl<sub>2</sub> – Cloreto de Bário.

Ca – Cálcio.

CBM – Carbono da Biomassa Microbiana.

cm – Centímetros.

CO<sub>2</sub> – Gás carbônico.

CVRD – Companhia Vale do Rio Doce.

DAA – Dias após aplicação.

DS – Desenvolvimento Sustentável.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

EPSPS – 5 enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase.

FLONA – Floresta Nacional.

g – Grama.

g i.a. – Gramas de ingrediente ativo.

g.i.a. ha<sup>-1</sup> – Gramas de ingrediente ativo em equivalente ácido por hectare.

GABAN – Gerência de Meio Ambiente Ferrosos Norte.

H – Hidrogênio.

HCl – Ácido Clorídrico.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

ITV – Instituto Tecnológico Vale.

K – Potássio.

Kg ha<sup>-1</sup> – Quilogramas por hectare.

l ha<sup>-1</sup> – Litros por hectare.

lib pol<sup>-2</sup> – Libras por polegada quadrada.

m – Metro.

m<sup>2</sup> – Metro quadrado.

MBC – Microbial biomass carbon.

Mg – Manganês.

ml – Mililitros.

mm – Milímetros.

MO – Matéria Orgânica.

N – Nitrogênio.

Na – Sódio.

NaOH – Hidróxido de sódio.

P – Fósforo.

PEP – Fosfoenolpiruvato.

pH – Potencial Hidrogeniônico.

$qCO_2$  – Quociente metabólico.

RAD – Recuperação de Áreas Degradadas.

*ssp* – Espécies.

## SUMÁRIO

1. <b>INTRODUÇÃO</b> .....	17
2. <b>OBJETIVO GERAL</b> .....	18
2.1 Objetivos específicos.....	18
3. <b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	19
3.1. A Floresta Nacional de Carajás.....	19
3.1.1. Contexto histórico.....	19
3.1.2. Da criação da Floresta Nacional de Carajás.....	20
3.1.3. Vegetação.....	21
3.2. Legislação, ocorrência e impacto de espécies exóticas em Unidades de Conservação.....	21
3.3. Gramíneas exóticas: introdução, uso e impactos.....	24
3.4. Descrição das gramíneas exóticas de maior ocorrência na FLONA de Carajás.....	26
3.5. Controle de gramíneas exóticas.....	28
3.6. Herbicida glyphosate.....	30
3.7. Microbiota do solo como bioindicador do impacto ambiental do glyphosate.....	31
4. <b>JUSTIFICATIVA</b> .....	31
5. <b>HIPÓTESES</b> .....	33
6. <b>REFERÊNCIAS</b> .....	33
<b>CAPÍTULO 1: Efeito de diferentes formulações e doses de glyphosate no controle de <i>U. humidicola</i> e <i>U. brizantha</i> na Floresta Nacional de Carajás.....</b>	<b>38</b>
Introdução.....	38
Material e métodos.....	39
Resultados e discussão.....	41
Conclusão.....	44
Referências.....	44
<b>CAPÍTULO 2: Avaliação da atividade microbiana como bioindicador do impacto ambiental de diferentes formulações e doses de glyphosate em solo da Floresta Nacional de Carajás.....</b>	<b>44</b>
Introdução.....	46
Material e métodos.....	47
Resultados e discussão.....	49
Conclusão.....	56
Referências.....	56
<b>ANEXOS</b> .....	<b>58</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A ocorrência de espécies exóticas invasoras é reconhecida como de mudanças climáticas globais (LEVINE & D'ANTONIO, 1999). Em virtude dos grandes impactos provocados tanto no âmbito ambiental como em socioeconômicos, diversos países adotam planos de controle por meio de normas e legislações nacionais e internacionais.

As invasões biológicas são um importante componente de mudança global, de ameaça à conservação da biodiversidade e dos ecossistemas naturais, posto que podem competir com as espécies nativas, modificar a dinâmica das comunidades, alterar os habitats e regimes de perturbações (VITOUSEK; WALKER, 1989; VITOUSEK et al., 1997; MACK et al., 1996).

Na Floresta Nacional (FLONA) de Carajás é observado grande ocorrência de espécies de gramíneas exóticas invasoras do gênero *Urochloa*, as quais foram introduzidas principalmente como espécie vegetal na recuperação de áreas mineradas e na prevenção de erosão de taludes de rodovias. Outra forma de dispersão e introdução na FLONA se deu pelo uso intensivo dessas plantas para formação de pastagens nas áreas vizinhas.

O gênero *Urochloa*, representado principalmente pelas espécies *U. brizantha*, *U. decumbens* e *U. humidicola*, é responsável por cerca de 80% de toda a área de pastagens cultivadas no Brasil (HODGSON & SILVA, 2002). Os principais motivadores de uso dessas plantas foram a facilidade na aquisição de sementes de boa qualidade, boa tolerância a solos de baixa fertilidade, rápido estabelecimento, alta competição com plantas daninhas e boa eficiência na proteção do solo contra a erosão (CAVALCANTI FILHO et al., 2008). As mesmas características que tornam essas plantas aptas a se desenvolver em ambientes hostis também são a causa de sua grande agressividade com espécies da fauna e flora nativas.

Espécies exóticas invasoras devem ser alvos de programas de controle e erradicação em áreas naturais, especialmente em unidades de conservação (ZILLER, 2006). E, portanto devem ser controladas em áreas protegidas, tais como na FLONA de Carajás.

Diversos métodos de controle podem ser empregados para o manejo de plantas exóticas, sempre tendendo ao uso de técnicas visando maior eficiência no controle, menor custo e menor impacto ambiental.

O controle mais controverso e com maior perigo de uso é o químico, por meio de herbicidas, exigindo maior cautela. Diversas referências internacionais disponibilizam métodos de controle químico para espécies exóticas invasoras (PARSONS; CUTHBERTSON, 2001; TU et al., 2001; MOTOOKA et al., 2002; 2003; XACT INFORMATION, 2005; RENTERÍA et al., 2007).

Herbicidas compostos pela molécula glyphosate possuem grande eficiência no controle de gramíneas (RODRIGUES, et al., 2010). Porém, o uso em áreas protegidas, tal como a FLONA de Carajás, deve ser estudado com o intuito de se usar a formulação comercial que proporcione maior controle com a menor dose possível e verificar se há possíveis impactos no ambiente local. Esses estudos podem subsidiar instituições governamentais de cunho ambiental a possivelmente liberar o uso localizado de herbicidas como um dos componentes de controle de espécies vegetais exóticas invasoras.

## **2. OBJETIVO GERAL**

Avaliar o controle químico de gramíneas exóticas e impacto ambiental de herbicidas na FLONA de Carajás.

### **2.1 Objetivos específicos**

1. Avaliar o efeito de diferentes formulações e doses de glyphosate no controle químico de *U. humidicola* e *U. brizantha*.
2. Avaliar a atividade microbiana como bioindicador do impacto ambiental de diferentes formulações e doses de glyphosate em solo.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1. A Floresta Nacional de Carajás.**

##### **3.1.1. Contexto histórico.**

A criação da Floresta Nacional de Carajás teve como fator determinante as pesquisas de jazidas minerais. As primeiras descrições foram realizadas em 1933, pelo engenheiro Luís Flores de Moraes Rego durante levantamento do rio Tocantins onde descreveu o que provavelmente são as chapadas com canga da Serra Sul. Na década de 1960, geólogos de diversas instituições do Pará, realizaram o programa de reconhecimento geológico na bacia do rio Fresco com o intuito de avaliar ocorrências de material carbonoso (PEREIRA, 1993).

Em 1967 o Geólogo da companhia *United States Steel*, Breno Augusto dos Santos, buscava por jazidas de manganês tendo em mãos as fotos aéreas do Projeto Araguaia. Em 31 julho daquele ano fez a descoberta de uma cobertura que correspondia à canga de minério de ferro, o que foi confirmado em março de 1968 pelo Departamento Nacional de Produção Mineral. Entre 1970 e 1979 foram consolidados os passos iniciais da exploração de minério de ferro com concessão dada a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) atualmente Vale S/A, incluindo a construção da Estrada de Ferro Carajás (ALMEIDA JUNIOR, 1986).

Passado os anos, houve um rápido processo de ocupação de terras vizinhas com intenso processo de degradação do solo e dos ecossistemas em geral. O governo brasileiro, fundamentado em justificativas técnicas e científicas, propôs a criação de uma unidade de conservação compatível com a realidade socioeconômica e ambiental local (IBAMA, 2004).

Detentora dos direitos minerários sobre o subsolo, nas áreas definidas pelos decretos, a CVRD passou a pleitear a superfície da Província Mineral, com o objetivo de garantir o direito sobre as terras necessárias ao complexo industrial e respectiva infraestrutura além de prevenir eventuais conflitos com terceiros pela posse da terra. O Grupo de Estudos e Assessoramento sobre Meio Ambiente da CVRD, recomendou a criação de Unidades de Conservação na região da Serra dos Carajás (VALE, 2012). Deste modo, a criação da

Floresta Nacional de Carajás foi arquitetada na assessoria de Meio Ambiente da CVRD, à época uma empresa estatal, privatizada em maio de 1997.

### 3.1.2. Da criação da Floresta Nacional de Carajás.

A FLONA de Carajás foi criada pelo decreto n. 2.486 de 02 de fevereiro de 1998, com o intuito de proteger um ambiente extremamente endêmico dos ecossistemas Amazônicos. Com dimensões de 411.948 ha, ocupando parte dos municípios de Parauapebas, Canaã dos Carajás e Água Azul do Norte, no Estado do Pará.

A criação da FLONA de Carajás teve uma significativa relevância ecológica e social no cenário conservacionista, quando o Governo Federal criou ao redor da área desta outras quatro unidades de conservação de diferentes categorias, formando o Mosaico de Carajás (Campos & Castilho, 2012): Área de Proteção Ambiental do Igarapé Gelado, Reserva Biológica do Tapirapé, Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri, Floresta Nacional do Itacaiunas e a Terra Indígena dos Xikrin-Catete (Figura 1).

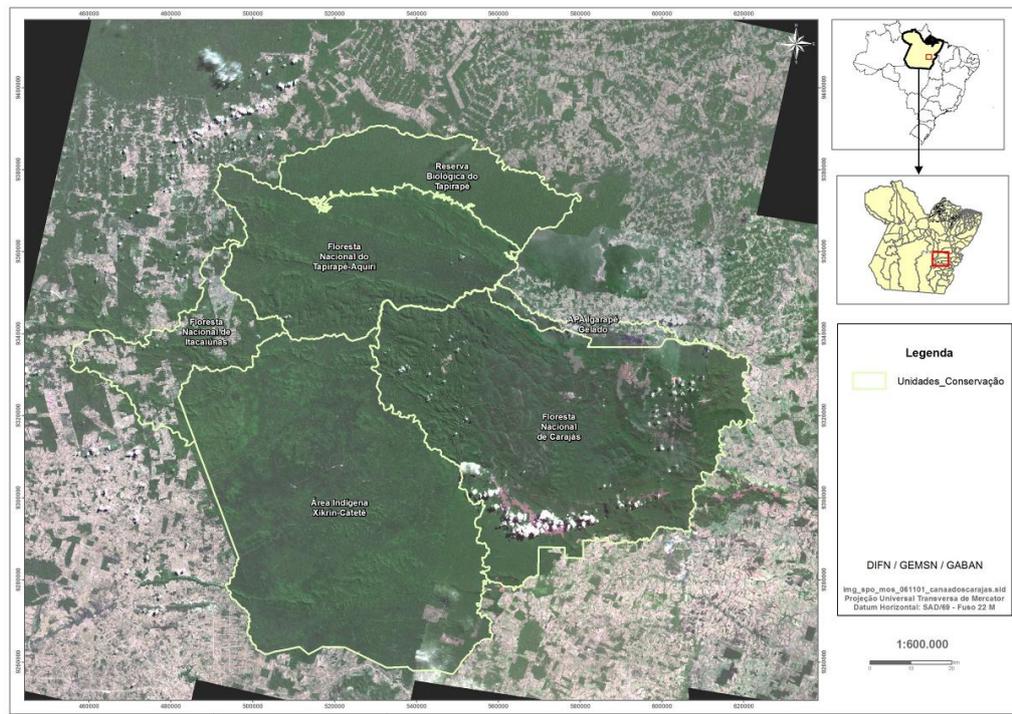


Figura 1 – Unidades de Conservação do Mosaico de Carajás cercadas por áreas antropizadas. Fonte: (GABAN – Vale, 2015).

Assim, o Mosaico de Carajás forma uma ilha de vegetação natural circundada por áreas antropizadas, pressionada em decorrência principalmente da expansão da fronteira agropecuária do país. Em escala regional, o Mosaico de Carajás já se encontraria em processo de isolamento geográfico, formando um extenso fragmento florestal de cerca de 12.000 km<sup>2</sup> na região sudeste do Pará (MARTINS et al, 2012).

### **3.1.3. Vegetação.**

Na escala dos biomas, a FLONA de Carajás abriga dois ambientes fitogeográficos bem distintos: um tipicamente arbóreo, representado pela Floresta Ombrófila em suas diferentes fâcies; e outro, por uma formação herbáceo-arbustiva, denominada Savana Metalófila (IBGE 2012).

Para efeito de estudos a Savana Metalófila, foi classificada em diferentes estratos a depender das características em que se encontravam. Campos & Castilho (2012), aprofundando estudos realizados anteriormente, apresentaram a Savana Metalófila classificada em quatro geoambientes e dez geofâcies. Salomão et al (2014), caracterizaram o ecossistema de “canga” como sendo formado por quatro fitofisionomias básicas: a canga arbustiva, o capão florestal, o campo brejoso e o buritizal.

Uma das características recorrentes nesses ambientes é a abertura da vegetação havendo um favorecimento na entrada de luz, proporcionando o estabelecimento de espécies heliófilas.

Em estudo realizado pela Golder Associates (2008), foi levantada a ocorrência de 23 espécies de plantas endêmicas, sendo 19 consideradas potencialmente novas para ciência e 22 espécies ameaçadas na FLONA de Carajás. A ocorrência de espécies exóticas tem sido relatada com frequência, predominando espécies do gênero *Urochloa*.

## **3.2. Legislação, ocorrência e impacto de espécies exóticas em Unidades de Conservação.**

Segundo a Decisão VI/23 da Convenção sobre Diversidade Biológica (2012) o termo *espécie exótica* se refere à determinada espécie, subespécie ou táxon de hierarquia inferior, introduzida acidental ou deliberadamente além de

sua área de distribuição natural passada ou presente. Inclui qualquer parte (gametas, sementes, ovos ou propágulos) capaz de se estabelecer e, subsequentemente, se reproduzir. Já o termo *espécie invasora* é aplicado quando uma espécie, exótica ou nativa, é introduzida e/ou dispersa de forma que ameace a diversidade biológica, ou seja, que provoque uma “contaminação biológica”. Essa contaminação refere-se aos danos causados por espécies que naturalmente não fazem parte de um dado ecossistema, mas que se naturalizam e se dispersam, alterando o seu funcionamento e impedindo sua regeneração natural.

Atualmente, as espécies exóticas invasoras são reconhecidas como a segunda causa mundial de perda de diversidade biológica, com impactos equivalentes aos gerados em decorrência das mudanças climáticas, uma vez que as invasões de espécies vegetais têm aumentado sua frequência e extensão com a crescente globalização e distúrbios antrópicos, (LEVINE & D’ANTONIO, 1999). As mesmas espécies exóticas são invasoras de diversos países levando à homogeneização da flora mundial, em um lento processo de globalização ambiental (GODOY et al., 2009).

As invasões biológicas são um importante componente de mudança global e de ameaça à conservação da biodiversidade e dos ecossistemas naturais, posto que possam competir com as espécies nativas, modificar a dinâmica das comunidades, alterarem os habitats e os regimes de perturbações (VITOUSEK; WALKER, 1989; VITOUSEK et al., 1997; MACK et al., 1996).

Diversas espécies exóticas introduzidas não se tornam invasoras, enquanto outras, na ausência de competidores, predadores e parasitas, apresentam vantagens competitivas com relação às espécies nativas tornando-se agressivas. As diferentes espécies exóticas invasoras podem diferir fundamentalmente na taxonomia, ecologia, e ambientes onde são encontradas (VITOUSEK, et al., 1989). No entanto, algumas características das espécies são relacionadas ao alto potencial de invasão, tais como: produção de grande quantidade de sementes de pequeno tamanho, dotadas de síndrome de dispersão anemocórica, alta eficiência reprodutiva sexuada e/ou assexuada, maturação precoce, formação de banco de sementes no solo com grande longevidade, longos períodos de floração e frutificação, rápido crescimento,

alelopatia, pioneirismo e adaptação às áreas degradadas (REJMÁNEK & RICHARDSON, 1996; GOSPER & VIVIAN-SMITH, 2009). Isso explica a rápida adaptação de seus ciclos de germinação e ocupação em ambientes perturbados naturalmente ou induzidos (GODOY et al., 2009).

Plantas exóticas invasoras tendem a produzir alterações no funcionamento ecológico, como ciclagem de nutrientes, produtividade vegetal, cadeias tróficas, estrutura, dominância, distribuição e funções de espécies num dado ecossistema, com efeitos na distribuição e acúmulo de biomassa, na densidade de espécies no porte da vegetação, nos acúmulos de serrapilheira, nas taxas de decomposição, nos processos evolutivos e nas relações entre polinizadores e plantas. Podem, ainda, alterar o ciclo hidrológico e o regime de incêndios, levando à seleção das espécies existentes e, de modo geral, ao empobrecimento dos ecossistemas. Há o risco de que produzam híbridos a partir de espécies nativas, o que as tornaria ainda mais agressivas. Estas mudanças colocam em risco as atividades econômicas/conservacionistas ligadas ao uso de recursos naturais, gerando mudanças na matriz de produção/conservação pretendida com impactos economicamente/ecologicamente negativos (HASTWELL, & PANETTA, 1996).

A invasão de espécies vegetais, no entanto, é geralmente o sintoma das alterações, sendo raramente a causa das mudanças antrópicas no ambiente. Contrariamente aos demais problemas ambientais, o processo de invasão não é absorvido e seus efeitos não são amenizados com o tempo, agravando-se à medida que as plantas exóticas invasoras depõem as espécies nativas em decorrência da alta competitividade, ocasionando a perda da biodiversidade, alterações dos ciclos e das características naturais dos ecossistemas atingidos, além da alteração fisionômica da paisagem natural (BIGGELI, 1993). Assim, à medida que a vegetação nativa vai se extinguindo, seja pelo desmatamento ou pela substituição por plantas exóticas, perdem-se informações e recursos que poderiam ser de valor tanto científico como econômico.

A luta pela competição pelo estabelecimento de espécies em determinado local deve ser observada de maneira cautelosa já que segundo os astrofísicos Tyson & Goldsmith (2004), 99,9% das espécies que passaram pela terra foram extintas. Os motivos de extinção são diversos, podendo ser por desastres naturais, mudanças climáticas, por seleção natural ou motivada por competição

induzida por outras espécies, incluindo-se aí a competição com espécies exóticas.

A gravidade do impacto é, no entanto, uma função do tempo de invasão associada à falta de manejo adequado e de controle da espécie. Certas espécies podem mudar a estrutura, o funcionamento ou a capacidade produtiva de ecossistemas naturais, enquanto outras conseguem dominar totalmente o ambiente que invadem, eliminando as espécies nativas e deteriorando a diversidade natural. Isto exposto, o uso de espécies exóticas deve fundamentar-se no princípio da precaução, respeitando a Convenção Internacional da Biodiversidade, a Lei de Crimes Ambientais Brasileira e a Política Nacional da Biodiversidade.

### **3.3. Gramíneas exóticas: introdução, uso e impactos.**

As gramíneas introduzidas no Brasil: capim Jaraguá (*Hyparrhenia rufa* (NESS) Stap.), o gênero das Braquiárias (*Urochloa ssp.*), o capim colônia (*Panicum maximum*) e o capim gordura (*Melinis minutiflora*) são originários da África do Sul e da África ocidental. Elas foram introduzidas acidentalmente e ou para fins comerciais e se espalharam por grandes extensões de ecossistemas antropizados, deslocando espécies nativas graças à sua agressividade e ao seu grande poder competitivo, hoje se comportando como espécies exóticas invasoras (PIVELLO et al.1999; MATOS & PIVELLO 2009).

O gênero *Urochloa* é comumente conhecida com o nome vulgar de Braquiária. Anteriormente pertencia ao gênero *Brachiaria*, havendo uma série de estudos conduzidos principalmente por WEBSTER (1987) e MORRONE & ZULOAGA (1992) os quais indicaram a readequação de gênero, passando de *Brachiaria* para *Urochloa* podendo ser utilizado ambos como sinônimo.

No Brasil, as espécies *U. brizantha*, *U. decumbens* e *U. humidicola*, são responsáveis por cerca de 80% de toda a área de pastagens cultivadas (HODGSON & SILVA, 2002). A facilidade na aquisição de sementes de boa qualidade, boa tolerância a solos de baixa fertilidade, rápido estabelecimento, alta competição com plantas invasoras e boa eficiência na proteção do solo contra a erosão, contribuíram para a rápida disseminação dessas espécies tanto na pecuária como em áreas que necessitam de rápida cobertura do solo

para contenção de erosão (CAVALCANTI FILHO et al., 2008). Há que se destacar que essas gramíneas são consideradas culturas de interesse agrônômico, com intensa pesquisa em melhoramento genético e cultural, aumentando ainda mais as características de rusticidade e produtividade na produção de pastagens.

Outra atividade que teve intenso uso de espécies exóticas foi na recuperação de áreas mineradas. Farmer et al. (1976) discutiam que teoricamente, as plantas nativas da região em questão levariam vantagem sobre as espécies exóticas por já estarem adaptadas às condições ecológicas do local. Porém, as espécies exóticas e/ou introduzidas, em muitos casos, mostraram melhor rendimento que as espécies autóctones. Bom exemplo disso, para o Brasil, é o uso de pinus e eucaliptos no reflorestamento comercial (GRIFFITH, 1980).

A recuperação de taludes, pilhas de estéril e rejeito em mineração de ferro no Brasil é uma área que está ainda na infância, em relação ao potencial de desenvolvimento (BARTH, 1989). Até meados dos anos 90 o uso intensivo de gramíneas africanas era massivo e caracterizado pelo imediatismo da recuperação (GRIFFITH et al., 1996).

Vários fatores levaram ao uso de gramíneas exóticas em áreas de recuperação. Tanto do ponto de vista morfológico e fisiológico da planta, como a aplicabilidade prática no manejo de RAD (Recuperação de Áreas Degradadas). Tais características compreendem: vigor, baixa necessidade hídrica, baixa necessidade de nutrientes, tolerância à acidez, a rápida cobertura do solo, a falta de sementes dos ecossistemas regionais e a farta disponibilidade de sementes de gramíneas exóticas no mercado.

Esses fatores em conjunto não permitiam aos técnicos e empreendedores, utilizarem técnicas mais apuradas. Ressalta-se que a maioria das características citadas que atestam qualidade das sementes exóticas para a sua utilização como forrageira, são as mesmas que as qualificam como invasoras perigosas. Fato é que o melhoramento genético destas espécies estrangeiras continua sendo desenvolvido por nossos institutos de pesquisa, e o seu plantio indicado por órgãos públicos nacionais de extensão aos pecuaristas do mesmo modo que continua a falta de pesquisas para a utilização das gramíneas nativas.

As práticas tradicionais de recuperação frequentemente introduzem espécies exóticas com potencial adaptativo que se naturalizam, provocando mudanças nos ecossistemas naturais, como, por exemplo, aquelas do gênero *Pinus*, que são empregados em projetos de reflorestamento e atividades florestais, e as gramíneas do gênero *Brachiaria*, que são utilizadas na formação de pastagens (ZILLER, 2000).

Na FLONA de Carajás, as vias de introdução das gramíneas exóticas se devem pela sua outrora utilização nos programas de recuperação de áreas degradadas, já abolidas. Outra provável via, é a entrada por meio de transporte das sementes por animais ou aderidas aos automóveis ou pessoas. A dispersão natural é favorecida por grande concentração de pastagens ao redor da FLONA.

A preocupação com a crescente diminuição dos ecossistemas gerou o desenvolvimento de diversos estudos, visando a restabelecer as comunidades naturais de áreas que sofreram degradação (REIS et al., 1999).

As espécies exóticas utilizadas em processos de recuperação, além de impedirem a sucessão por não estabelecerem interações interespecíficas nos ecossistemas brasileiros, tendem a ser invasoras altamente agressivas não somente nas áreas onde foram empregadas, constituindo um risco para as populações nativas, o que consiste em crime ambiental, segundo o art. 485 da Lei n. 9605/1998 (ESPINDOLA et al., 2005). Também, há de se considerar o grande potencial de inflamabilidade dessas áreas com ocorrência de capins.

#### **3.4. Descrição das gramíneas exóticas de maior ocorrência na FLONA de Carajás.**

O gênero *Urochloa* (Trinius) Grisebach é constituído por plantas herbáceas, perenes ou anuais, eretas ou decumbentes. Cerca de 100 espécies são naturais de todas as regiões tropicais, em especial da África (Pupo 1980). No Brasil, o gênero *Urochloa*, representado principalmente pelas espécies *U. brizantha*, *U. decumbens* e *U. humidicola*, é responsável por cerca de 80% de toda a área de pastagens cultivadas (Hodgson e Silva, 2002). Segundo Goedert et al. (1988) *U. decumbens* pode alcançar uma produtividade anual

entre 5 a 12 t/ha de matéria seca. As gramíneas invasoras de maior ocorrência na FLONA de Carajás são as gramíneas *Urochloa humidicola* e *U. brizantha*.

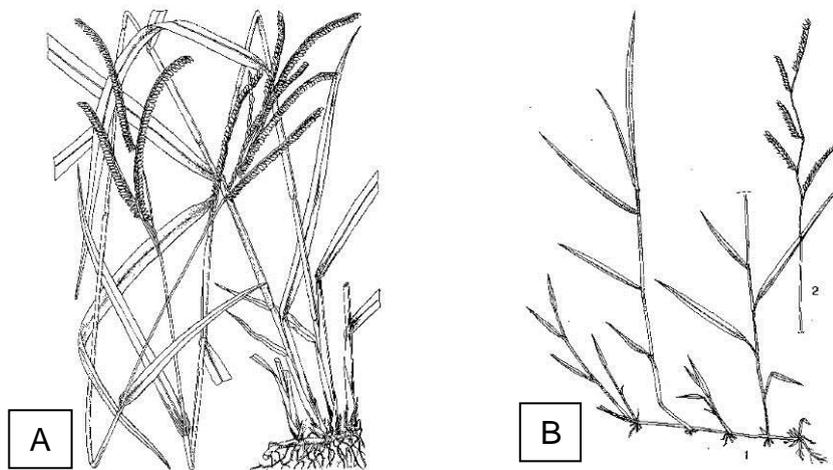


Figura 2 – Ilustração morfológica de *Urochloa brizantha* (A) e *U. humidicola* (B).  
Fonte: Tropical forages (2015).

*Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf é perene, apresentando rizomas curtos, colmos normalmente eretos, sem ramos ou pouco ramificados, com 4-6 nós, não perfilhando intensamente nem emitindo raízes adventícias nos nós. As folhas são glabras até pubescentes, com bainhas roliças e pouco persistentes; as lâminas foliares são agudas, com 0,6-1,6 cm de largura, cartilágineo-marginadas, ciliadas (SMITH et al. 1982). Quando bastante desenvolvida, forma touceiras que chegam a atingir 2 m de altura, por isso, alguns autores, consideram esta espécie cespitosa. Dentre as braquiárias, é considerada a mais resistente à seca e ao frio, vegetando tanto em solos úmidos quanto secos, não exigindo muita fertilidade, porém, é mais exigente que *U. humidicola* (ALCÂNTARA & BUFARAH 1992).

*Urochloa humidicola* (Rendle) Schweick. também é perene, ereta ou decumbente, rizomatosa ou estolonífera (ALCÂNTARA & BUFARAH 1992; PUPO 1980). Os colmos são solitários, geniculados na base e a partir da ramificação, ascendentes e delgados. Folhas com bainhas bem mais curtas que os entrenós; lâminas foliares ascendentes, linear-lanceoladas, subagudas, com 6,0-11,0 cm de comprimento e 1,0-1,2 cm de largura, com margens espessadas e miudamente serrilhadas. É pouco exigente quanto ao solo,

vegeta bem em locais úmidos ou secos, sendo resistente à geada. Tem sido largamente utilizada para formação de pastagens nas mais diferentes regiões do país, sendo promissora para a região.

*U. brizantha* e *U. humidicola* são forrageiras tropicais, as quais possuem via fotossintética C4, associada à anatomia Kranz. Esta anatomia apresenta feixes vasculares circundados por células mesofílicas em disposição radiada, e mais internamente, uma ou duas camadas de células denominadas de bainha parenquimática e bainha mestomática, respectivamente (OLIVEIRA et al. 1973).

Devido características morfofisiológicas da braquiária, o seu controle em áreas florestais e outras áreas agrícolas não é uma operação fácil, principalmente pela pouca existência no mercado de herbicidas gramínicos seletivos para espécies florestais e pelo alto custo operacional dos métodos mecânicos de controle, o que inviabiliza tal operação principalmente em grandes áreas. A persistência de *Urochloa* no solo deve-se, principalmente, ao grande estoque de sementes que fica armazenado no solo e à sua germinação irregular, devido à dormência de sementes.

Pode-se considerar a luz como o principal fator (recurso) de competição entre plantas arbustivas e arbóreas com as de braquiária. Isso ocorre porque a sua eficiência fotossintética é altamente dependente da intensidade da luz, pois são espécies que apresentam o metabolismo C4. Essas plantas, se sombreadas, até mesmo parcialmente, têm suas taxas de fotossíntese líquida altamente reduzidas e, nestas condições, são facilmente dominadas pelas plantas daninhas (HUMPHREYS, 1991; SHELTON et al., 1987) ou pelas arbustivas e arbóreas. Esse fato pode ser utilizado como método de controle cultural seguro ambientalmente, econômico e sustentável.

### **3.5. Controle de gramíneas exóticas.**

O uso de técnicas de controle de plantas exóticas deve ser aplicado dentro do conhecimento amplo do manejo integrado de plantas, ou seja, utilizar o conhecimento das suas características fisiológicas e morfológicas, sua interação com o ambiente (solo, clima, alelopatia e inimigos naturais) e, dessa maneira, aplicar diferentes técnicas de controle integrado, de maneira a

possibilitar grande eficiência de controle, buscando a redução de custos e de impactos ao ambiente.

Dentre as técnicas que podem se utilizar destacam-se: alelopatia (fator de competição de inibição de crescimento da planta em competição), controle mecânico (roçagem, capina, monda, etc.), controle físico (cobertura morta, palhada, solarização, fogo), controle cultural (uso da planta nativa como forma de controle da planta exótica), controle biológico (insetos, pássaros, microrganismos) e controle químico (SILVA, 2010).

Logicamente que algumas técnicas podem apresentar danos potenciais ao ambiente como exemplo o uso do fogo que lança na atmosfera gases do efeito estufa, o uso de inimigos naturais exóticos com hábitos não seletivos que podem se tornar pragas com potenciais danos a fauna e flora nativas e os impactos concernentes ao uso de moléculas antrópicas (herbicidas) em áreas de proteção ambiental (APP) e/ou de unidades de conservação.

O uso de produtos químicos em sistemas agrícolas e florestais, deve ser feito de maneira a reduzir danos a fauna e flora nativas, aos organismos não alvos e promover segurança ao aplicador. Dentre as moléculas utilizadas em sistemas florestais que possuem essas características, destaca-se o glyphosate. A vantagem do uso dessa molécula é que controla com muita eficiência plantas de *Urochloa*.

Diversas referências internacionais disponibilizam métodos de controle químico para espécies exóticas invasoras (PARSONS; CUTHBERTSON, 2001; TU et al., 2001; MOTOOKA et al., 2002; 2003; XACT INFORMATION, 2005; RENTERÍA et al., 2007). Porém, nem sempre os princípios ativos estão disponíveis no Brasil e nem sempre as doses indicadas são ideais para as condições de ambientes locais. Por essas razões, é comumente necessário ajustar as indicações de métodos disponíveis (DECHOUM & ZILLER, 2013).

Espécies exóticas invasoras devem ser alvos de programas de controle e erradicação em áreas naturais, especialmente em unidades de conservação (ZILLER, 2006). Esses programas podem envolver métodos de controle mecânico, químico e biológico, que podem ser utilizados independentemente ou integrados, como ocorre na maioria dos casos (WITTENBERG & COCK, 2001).

O emprego de técnicas e protocolos integrados com o objetivo de reduzir ou eliminar plantas exóticas em áreas protegidas deve ser realizado com a aplicação de diversos estudos, já que se trata de um ambiente com ecossistemas diversos onde devem ser aplicados mecanismos de redução da perturbação do ambiente com o mínimo de impacto.

### **3.6. Herbicida glyphosate**

O glyphosate é o herbicida mais vendido no mundo e o mais estudado pela comunidade científica. Os fatores que levam ao intenso uso dessa molécula tanto em áreas agrícolas como em áreas não-agrícolas, se devem a inativação da molécula no solo devido a uma forte adsorção em argila, ácido fosfônico e diferentes hidróxidos, todos abundantes nos solos. Não possui efeito residual visível e por ser solúvel apresenta baixo risco de bioacumulação, além de possuir amplo espectro de ação e ter baixo custo (HANEY et al. 2000).

Citando textualmente Silva (2010):

"O glyphosate pertence ao grupo de herbicidas inibidores da enzima EPSPS (5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase). Logo após a aplicação, plantas tratadas com estes herbicidas param de crescer. Há redução acentuada nas plantas tratadas, dos níveis dos aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina e triptofano). Por outro lado, foi observado o aumento acentuado na concentração de chiquimato, precursor comum na rota metabólica dos três aminoácidos aromáticos. Verificou-se, então, que o ponto de ação era a enzima EPSP sintase. O Glyphosate inibe a EPSP sintase por competição com o substrato PEP (fosfoenolpiruvato), evitando a transformação do chiquimato em corismato. A enzima EPSP sintase é sintetizada no citoplasma e transportada para dentro do cloroplasto, onde atua. O glyphosate se liga a esta enzima pela carboxila do ácido glutâmico (glutamina) na posição 418 da sequência de aminoácidos.

Alguns autores acham que a simples redução de aminoácidos e a acumulação de chiquimato não seriam suficientes para a ação herbicida; acreditam que a desregulação da rota do ácido chiquímico resulta na perda de carbonos disponíveis para outras reações celulares na planta, uma vez que

20% do carbono é utilizado nesta rota metabólica, pois fenilalanina, tirosina e tryptofano são precursores da maioria dos compostos aromáticos nas plantas."

### **3.7. Microbiota do solo como bioindicador do impacto ambiental do glyphosate**

Na organização biológica do organismo, as ferramentas de análise são chamadas de bioindicadores (HYNE e MAHER, 2000). São definidos como qualquer resposta a um contaminante ambiental individual, medidos no organismo ou matriz biológica, indicando um desvio do status normal que não pode ser detectado no organismo intacto. Ou seja, são medidas de fluidos corporais, células, tecidos ou medidas realizadas sobre o organismo completo, que indicam, em termos bioquímicos, celulares, fisiológicos, compartimentais ou energéticos, a presença de substâncias contaminantes ou a magnitude da resposta do organismo alvo (LIVINGSTONE, 1993).

Existem bioindicadores moleculares, celulares e até para um organismo como um todo. As duas características mais importantes dos bioindicadores são: (a) permitem identificar as interações que ocorrem entre os contaminantes e os organismos vivos e (b) possibilitam a mensuração de efeitos sub-letais. Esta última característica permite pôr em prática ações remediadoras ou, melhor ainda, ações preventivas. Daí a importância e o interesse atual de incorporação da análise de bioindicadores em programas de avaliação da contaminação ambiental (ARIAS, et al., 2007).

Uma das maneiras de se avaliar o impacto de herbicidas no solo é por meio do método da quantificação da biomassa microbiana, conforme realizado por Santos et al (2006). A quantificação da biomassa microbiana possibilita avaliar as mudanças iniciais no conteúdo de matéria orgânica no solo, quando se utilizam práticas agrícolas diversas como aplicação de herbicidas (KINNEY et al., 2005). Pequenas mudanças graduais na matéria orgânica do solo são difíceis de serem monitoradas e detectadas no curto prazo (SPARLING 1992). Todavia, mudanças significativas na biomassa microbiana podem ser detectadas muito antes que alterações na matéria orgânica possam ser percebidas. A relação entre o CO<sub>2</sub> acumulado e o total do Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) fornece o quociente metabólico ( $qCO_2$ ), pelo qual

também se pode verificar a estabilidade e possíveis alterações na biomassa microbiana do solo.

O uso de moléculas herbicidas, como o glyphosate, pode servir como substrato utilizando as moléculas como fonte de carbono, energia e outros nutrientes, promovendo o incremento no crescimento microbial (STRATTON e STWART, 1992). No entanto, o uso excessivo de herbicidas pode promover efeitos adversos na microbiota do solo (ARAÚJO et al, 2003). Geralmente os microrganismos exibem extrema adaptabilidade em resposta ao impacto causado por xenobióticos. Os mecanismos de adaptabilidade são diversos sendo principalmente: a ocorrência de espécies tolerantes e a rápida recolonização do ambiente onde houve aplicação da molécula xenobiótica (FRIONI, 1999).

O glyphosate apresenta efeito adverso no desenvolvimento de microrganismos quando aplicado *in vitro* diretamente sobre os mesmos (BUSSE et al., 2001), pois a via bioquímica do ácido chiquímico é presente também em fungos e bactérias. Porém quando o glyphosate é aplicado no solo ele se torna inativo, perdendo a propriedade antimicrobiana, sendo rapidamente degradada por microrganismos (STRATTON & STEWART, 1992).

#### **4. JUSTIFICATIVA**

O controle de plantas exóticas em Unidades de Conservação (UC), tal como no caso da FLONA de Carajás, necessita de estudos de técnicas de controle que sejam eficientes, economicamente viáveis, que possam ser integradas e que exerçam o mínimo de impacto ao ambiente. Estudos na área de controle químico em UC's poderão servir de embasamento a órgãos ambientais e aos mantenedores das áreas para que possam efetivamente regulamentar o uso e registrar formulações específicas para tal fim.

Em face do exposto, justifica-se a execução de trabalhos que proporcionem a menor dose que promova controle químico eficiente e a verificação de seu respectivo impacto em bioindicadores de solo.

## 5. HIPÓTESES

O presente estudo foi realizado com o intuito de atender as seguintes hipóteses:

1. Controle químico com glyphosate é eficiente no controle de gramíneas exóticas do gênero *Urochloa*?
2. Qual dose e produto comercial proporciona controle eficiente de plantas do gênero *Urochloa*?
3. Doses e formulações comerciais de glyphosate causa impacto à microbiota do solo?

## 6. REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, P.B. & BUFARAH, G. 1992. **Plantas forrageiras: gramíneas e leguminosas**. 4a ed. Nobel, São Paulo.

ALMEIDA JUNIOR, J.M.G. de (org.). **Carajás: Desafio Político, Ecologia e Desenvolvimento**. São Paulo, Brasiliense-CNPq, 1986. 633p.

ARAÚJO, A., MONTEIRO, R., ABARKELI, R.. Effect of glyphosate on the microbial activity of two Brazilian soils. **Chemosphere**, v.52, p.799–804, 2003.

ARIAS, A.R.L.; et al. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. **Ciência e saúde coletiva**, v.12, n.1, p.61-72, 2007

BARTH, R. C. Avaliação da recuperação de áreas mineradas no Brasil. **Boletim Técnico (SIF)**, Viçosa, n.1, p. 1-41, 1989.

BIGGELI, P; HAMILTON, A. C. Biological invasion by *Maesopsis eminii* in the East Usambara forests, Tanzania. **Opera Botanica**, n.121, p.229-235, 1993.

BUSSE, M.D.; RATCLIFF, A.W.; SHESTAK, C.J. Glyphosate toxicity and the effects of long term vegetation control on soil microbial communities. **Soil Biol. Biochem.**, n.33, p.1777–1789, 2001.

CAMPOS, J. C. F.; CASTILHO, A. F. Uma Visão Geográfica da Região da FLONA de Carajás. In: MARTINS, F. D. et al. (org.). **Fauna da Floresta Nacional de Carajás: Estudos Sobre Vertebrados Terrestres**. São Paulo: Nitro Imagens, 2012. p. 30-63.

CAVALCANTI FILHO, L.F.M.; et al. Caracterização de pastagem de *Urochloa decumbens* na Zona da Mata de Pernambuco. **Archivos de Zootecnia**, v.57, n.220, 2008.

DECHOUM, M. S.; ZILLER, S. R. Métodos para controle de plantas exóticas invasoras. **Biotemas**, Florianópolis, v. 26, p. 69-77, 2013.

ESPINDOLA, M.B.; BECHARA, F.C.; BAZZO M.S.; REIS, A. Recuperação ambiental e contaminação biológica: aspectos ecológicos e legais. **Biotemas**, v.18, n.1, p.27-38. 2005.

FARMER, E. E.; Richardson, B. Z.; Brow, R. W.; Revegetation of acid mining wastes in central Idaho. Ogden, Utah, U.S. Department of Agriculture, **Forest Service**, 1976. 17p. Reserch Paper, INT-178

FRIONI, L. **Procesos Microbianos**, Editorial Fundación Universidad Nacional de Rio IV, 1999, 332 pp.

GODOY, O.; RICHARDSON, D.M.; VALLADARES, F.; CASTRO-DIÉZ, P. Flowering phenology of invasive alien plant species compared with native species in three Mediterranean-type ecosystems. **Annals of Botany**, n.103, p.485–494, 2009.

GOEDERT, W.J.; LOBATO, E.; WAGNER, E.E. Potencial agrícola da região de cerrados brasileiros. **Pesq. Agro. Bras.**, v.15, p.1-17, 1988.

GOLDER ASSOCIATES. **Relatório Consolidado De Flora da AID/ADA do Projeto Ferro Carajás S11D**. Belo Horizonte – MG, Abril, 2008.

GOSPER, C.R.; VIVIAN-SMITH, G. The role of fruit traits of bird-dispersed plants in invasiveness and weed risk assessment. **Diversity and Distributions**, n.15, p.1037–1046, 2009.

GRIFFITH, J.J. Recuperação Conservacionista de Superfícies Mineradas. **Boletim Técnico nº 2**, 1980. 51 p.1980.

GRIFFITH, J.J.; DIAS, L.E.; JUCKSCH, I. Rehabilitation of Mine Sites In Brazil Using Native Vegetation. In: S. K. Majumdar; E. W. Miller; F. J. Brenner. (Org.). **Forests - a global perspective**. 1 ed. Easton, PA, United States: Pennsylvania Academy of Science, 1996, v. , p. 470-488.

HANEY, R.L.; SENSEMAN, S.A.; HONS, E.M.; ZUBERER, D.A. Effect of glyphosate on soil microbial activity and biomass. **Weed Science** v.48, 89–93, 2000.

HASTWELL, G.T.; PANETTA, F.D. Can differential responses to nutrients explain the success of environmental weeds? **Journal of Vegetation Science**, n.16, p.77–84, 1996.

HODGSON, J. AND SILVA, S.C. 2002. Options in tropical pasture management. In: Reunião Annual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 39, 2002, Recife. **Anais...** Sociedade Brasileira de Zootecnia. Recife. p. 180-202.

HUMPHREYS, L.R. **Tropical pasture utilization**. Cambridge: Cambridge University Press, 1991. 206p.

HYNE RV, MAHER WA. Macroinvertebrate Biomarkers: Links to Toxicosis and Changes in Population or Communities. Cooperative Centre for Freshwater Ecology. University of Canberra. Australia. **Cooperative Research Centre for Freshwater Ecology. Technical Report ScD5**, 2000. Disponível em: <http://enterprise.canberra.edu.au>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 2012. 275 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Plano de Manejo para Uso Múltiplo da Floresta Nacional de Carajás**. Brasília, DF, Brasil, 2004.

- KINNEY, C.A.; MANDERNACK, K.W.; MOSIER, A.R. Laboratory investigations into the effects of the pesticides mancozeb, chlorothalonil, and prosulfuron on nitrous oxide and nitric oxide production in fertilized soil. **Soil Biol. Biochem.**, v.37, p.837-850, 2005.
- LEVINE, J.; D'ANTONIO CM. Elton revisited: a review of the evidence linking diversity and invasibility. **Oikos**, n.87, p.1–12, 1999.
- LIVINGSTONE D.R. Biotechnology and pollution monitoring: Use of molecular biomarkers in the aquatic environment. **J. Chem. Tech. Biotechnol**, v.57: 195-211, 1993.
- MACK, R.N. et al. Predicting the identity and fate of plant invaders: emergent and emerging approaches. **Biol. Conserv.**, N.78, p.107–121, 1996.
- MARTINS, G.S. de L.; ABREU, V.P. de; CAMPOS, A.N. da R. Basal and induced respiration by organic carbon compounds in soils from different land uses in Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Vértices**, v. 14, n. 2, p. 189–201, 2012.
- MATOS, D.M.S.; PIVELLO, V.R. O impacto das plantas invasoras nos recursos naturais de ambientes terrestres - alguns casos brasileiros. **Ci. Cult.**, v. 61, n. 1, p. 27-30, 2009.
- MORRONE, O.; ZULOAGA, F.O.. 1992. Revisión de las especies sudamericanas nativas e introducidas de los géneros *Brachiaria* y *Urochloa* (Poaceae: Panicoideae: Paniceae). **Darwiniana**, v.31, p.43-109, 1992.
- MOTOOKA, P. et al. **Weeds of Hawaii's Pastures and Natural Areas: An Identification and Management Guide College of Tropical Agriculture and Human Resources**, University of Hawai 'i at Manoa. Manoa, Honolulu, HI, 2003.
- MOTOOKA, P.; CHING, L.; NAGAI, G. **Herbicidal weed control methods for pastures and natural areas of Hawaii**. 2002.
- OLIVEIRA, B.A.D. de, FARIA, P.R.S., SOUTO, S.M., CARNEIRO, A.M., DÖBEREINER, J. & ARONOVICH, S. 1973. Identificação de gramíneas tropicais com via fotossintética C4 pela anatomia foliar. **Pesq. Agro. Bras.** 8:267-271.
- PARSONS, W. T.; CUTHBERTSON, E. G. **Noxious weeds of Australia**. CSIRO publishing, 2001.
- PEREIRA, D.A.C.; SANTOS, D.; CARVALHO, M.B. **Geografia – ciência do espaço** vol. 2. São Paulo: Atual, 1993.
- PIVELLO, V.R. et al. Abundance and distribution of native and alien grasses in a "cerrado" (Brazilian savanna) Biological Reserve. **Biotropica**, p. 71-82, 1999.
- PUPO, N.I.H. 1980. Manual de pastagens e forrageiras. Instituto Agronômico de Campinas, Campinas. SALERNO, A.R., VETTERLE, C.P., DESCHAMPS, F.C. & FREITAS, E.A.G. 1990. Gramíneas forrageiras estivais perenes no Baixo Vale do Itajaí. **Boletim Técnico nº 49**. Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina, Florianópolis.
- REIS, A.; ZAMBONIN, R. M.; NAKAZONO, E. M. **Recuperação de áreas florestais degradadas utilizando a sucessão e as interações planta-**

- animal**. Série Cadernos da Biosfera, 14. Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, São Paulo, Brasil, 1999. 42 p.
- REJMANEK, M.; RICHARDSON, D.M. What attributes make some plant species more invasive? **Ecology**, v.77, n.6, p. 1655-1661, 1996.
- RENTERÍA, J. L.; ATKINSON, R.; BUDDENHAGEN, C. **Estrategias para la erradicación de 21 especies de plantas potencialmente invasoras en Galápagos**. Galápagos; Fundación Charles Darwin, 2007. 108 p. (Relatório técnico).
- RODRIGUES, P. S.; LEÃO, E. F.; CAMPOS, H. B. N.; BARRÊTO F. A.; FERREIRA, M. C. Efeito do glifosato aplicado em *Brachiaria decumbens* sob diferentes pontas de pulverização. In: XXVII Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, julho, 2010. **Anais...** Ribeirão Preto/ SP.
- SANTOS, J.B.; et al. Action of two herbicides on the microbial activity of soil cultivated with common bean (*Phaseolus vulgaris*) in conventional-till and no-till systems. **Weed research**, v.46, n.04, p.284-289, 2006.
- SHELTON, H.M.; HUMPHREYS, L.R.; BATELLO, C. Pastures in the plantations of Asia and the Pacific: performance and prospect. **Tropical Grasslands**, v.21, p.159-168, 1987.
- SILVA, A. A.; SILVA, J.F. **Tópicos em Manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG, Ed. UFV, 2010. 140 p.
- SMITH, L.B., WASSHAUSEN, D.C. & KLEIN, R.M. 1982. Gramíneas. In **Flora ilustrada catarinense**, parte 1. Herbário Barbosa Rodrigues, Itajaí.
- SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indication of changes in soil organic matter. **Aust. J. Soil. Res.**, v.30, p.195-207, 1992.
- STRATTON, G.W.; STEWART, K.E. Glyphosate effects on microbial biomass in a coniferous forest soil. **Environ. Toxicol. Water Qual.** v.17, p.223–236, 1992.
- TU, M.; HURD, C.; RANDALL, J. M. **Weed control methods handbook: tools & techniques for use in natural areas**. Davis: The Nature Conservancy, 2001. 219 p.
- TYSON, D.N.; GOLDSMITH, D. **Origins: Fourteen billion years of cosmic evolution**. WW Norton & Company, 2004. 384p.
- VALE. **Nossa História 2012**. Rio de Janeiro: Verso Brasil, 2012. 420p. ISBN 978-85-72767-07-4.
- VITOUSEK, P.M.; WALKER, R. Biological invasion by *Myrica faya* in Hawai'i: plant demography, nitrogen fixation, ecosystem effects. **Ecological Monographs**, n.59, p.247-265, 1989.
- VITOUSEK; P.M.; D'ANTONIO, C.M.; LOOPE, L.L.; REJMANEK, M.; WESTBROOKS, R. Introduced species and global change. **New Zealand Journal of Ecology**, n.21, v.1, p.1-16, 1997.
- WEBSTER, R.D. **The Australian Paniceae (Poaceae)**. Stuttgart: J. Cramer. 1987.

WITTENBERG, R.; COCK, M.J.W. (Ed.). **Invasive alien species: a toolkit of best prevention and management practices.** CABI, 2001.

XACT INFORMATION. **Control of unwanted plants.** South Africa: Cooper Sunset Trading 100 Ltd., 2005. 238 p.

ZILLER, S.R. **A estepe gramíneo-lenhosa no segundo planalto do Paraná:** diagnóstico ambiental com enfoque à contaminação biológica. 2000. 242f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

ZILLER, S.R. Espécies exóticas da flora invasoras em unidades de conservação. In: CAMPOS, J.B.; TOSSULINO, M.G.P.; MULLER, C.R.C. (Ed.). **Unidades de conservação: ações para valorização da biodiversidade.** Curitiba: Instituto Ambiental do Paraná, 2006. p. 34-52.

## **CAPÍTULO 1 – Efeito de diferentes formulações e doses de glyphosate no controle de *Urochloa humidicola* e *Urochloa brizantha* na Floresta Nacional de Carajás.**

**Resumo** – Objetivou-se avaliar o efeito de diferentes formulações e doses de glyphosate no controle de *Urochloa humidicola* e *U. brizantha* ocorrente na FLONA de Carajás. Foram utilizadas três formulações comerciais de glyphosate (Roundup Original<sup>®</sup>, Roundup Ultra<sup>®</sup> e Roundup WG<sup>®</sup>) e cinco dosagens (0, 240, 480, 720 e 1440 g de ingrediente ativo em equivalente ácido ha<sup>-1</sup>) com quatro repetições totalizando 15 tratamentos. Os herbicidas foram aplicados por meio de um pulverizador costal pressurizado a CO<sub>2</sub>, com um volume de calda de 90 l ha<sup>-1</sup>. Vinte oito dias após a aplicação dos herbicidas foi realizada a análise do percentual de controle das plantas por meio de sintoma de intoxicação visual, em porcentagem. O controle superior a 90% foi considerado eficiente. A menor dosagem e formulação comercial para controle de *U. humidicola* foi de 318 g i.a. em equivalente ácido ha<sup>-1</sup> da formulação Roundup Ultra<sup>®</sup> e para *U. brizantha* foi de 793 g i.a. em equivalente ácido ha<sup>-1</sup> da formulação Roundup WG<sup>®</sup>.

**Palavras-chave:** Plantas exóticas. Braquiária. Controle químico. Herbicida.

### **Introdução**

Espécies do gênero *Urochloa*, possuem origem africana e tem sido amplamente disseminadas pelas regiões do mundo como importantes espécies forrageiras, tanto na África e Austrália tropical como na América do Sul (LORENZI e SOUZA, 2000). No Brasil, foi introduzida visando atender a crescente demanda de espécies forrageiras de elevada rusticidade e alta capacidade de produção de massa seca para pastagens. As espécies *U. brizantha*, *U. decumbens* e *U. humidicola*, são responsáveis por cerca de 80% de toda a área de pastagens cultivadas no Brasil (HODGSON & SILVA, 2002).

Devido às características morfológicas e fisiológicas de gramíneas de origem africana, seu uso, até meados dos anos 90, foi amplamente utilizada

em programas de recuperação de áreas degradadas (BARTH, 1989; GRIFFITH, 1980; CAVALCANTI FILHO et al., 2008).

Por não ser nativa do Brasil e por ter se adaptado muito bem a condição de solo e clima locais, apresenta características agressivas em áreas sensíveis a biodiversidade. Como exemplo, tem-se a ocorrência de espécies de *Urochloa* em unidades de conservação de diferentes categorias. Sua presença não é desejada nestes locais, pois proporcionam competição por água, luz e nutrientes com espécies nativas, reduzem a diversidade de espécies da flora e, por consequência, alteram o hábito alimentar da fauna local.

O controle de gramíneas do gênero *Urochloa*, é feito com grande eficiência por meio do uso de herbicidas, principalmente o glyphosate (RODRIGUES, et al., 2010). Porém, a resposta de dose em função da eficiência de controle pode ser distinta a depender da espécie e do produto comercial que se aplica, podendo acarretar em erros como a super ou subdosagem, proporcionando menor eficiência, economicidade e impactos ao ambiente (FERREIRA, 2010).

O uso em áreas sensíveis necessita de maiores estudos no que concerne a dose de produto e o efeito de formulações comerciais de herbicidas existentes no mercado, uma vez que não há regulamentação específica e registrada, estando permitido por instituições governamentais apenas o uso experimental de moléculas herbicidas. É justificado, então, estudos com este fim para embasar formalmente a possível regulamentação de uso em unidades de conservação.

Frente a este cenário objetivou-se avaliar o efeito de diferentes formulações e doses de glyphosate no controle químico de *U. humidicola* e *U. brizantha* ocorrentes na FLONA de Carajás.

## **Material e métodos**

A evolução das atividades experimentais é ilustrada no Anexo A nas figuras de 15 a 20. Foram utilizadas duas áreas experimentais dentro da Floresta Nacional de Carajás. Uma com ocorrência de *U. humidicola* próximo ao núcleo urbano de Carajás, com latitude de (60°29'87" S / 93°28'30" W) e

outra com ocorrência de *U. brizantha* no entorno do projeto mineral S11D (58°21'17" S / 92°86'23,4" W).

Nas duas áreas foi realizada a demarcação com piquetes de blocos com dimensões de 4 x 7 m (28 m<sup>2</sup>). Nestes, foram retiradas 1 m de cada lado como bordadura, sendo a área útil para análise os 10 m<sup>2</sup> centrais.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com 15 tratamentos (três formulações de herbicida e cinco doses) e quatro repetições conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos.

Herbicidas	Dose de ingrediente ativo	Dose do produto comercial
	<u>g.i.a.ha<sup>-1</sup>*</u>	<u>L ha<sup>-1</sup> ou Kg ha<sup>-1</sup>**</u>
Roundup Original®	0	0
	240	0,7
	480	1,3
	720	2,0
	1440	4,0
Roundup Ultra®	0	0
	240	0,4
	480	0,7
	720	1,1
	1440	2,2
Roundup WG®	0	0
	240	0,3
	480	0,7
	720	1,0
	1440	2,0

\* Gramas de ingrediente ativo em equivalente ácido por hectare.

\*\* l ha<sup>-1</sup> na formulação Roundup Original® e Kg ha<sup>-1</sup> para as formulações Roundup Ultra® e Roundup WG®.

Os herbicidas foram aplicados nas plantas de *Urochloa* adultas, com intenso perfilhamento e folhas definitivas sem sintomas de estresse hídrico ou nutricional.

O preparo de calda dos herbicidas foi realizado no laboratório multidisciplinar do Centro Universitário de Parauapebas, utilizando água destilada como componente hídrico da calda. As diferentes concentrações da formulação Roundup Original® foi mensurada em pipeta volumétrica com

auxílio de pipetador tipo pêra de borracha. As formulações Roundup Ultra® e Roundup WG® foram pesadas em balança analítica de precisão.

Para aplicação do herbicida foi utilizado um pulverizador costal pressurizado a CO<sub>2</sub>, operando à pressão constante de 40 lib pol<sup>-2</sup>, com uma barra de 1,0 m equipada com duas pontas de pulverização de jato plano TT11002, perfazendo uma faixa de aplicação de 2,0 m por passada e calibrado de maneira que fosse aplicada a quantidade equivalente a 90 l ha<sup>-1</sup> de calda.

Os tratamentos foram avaliados pela porcentagem de intoxicação visual, 28 dias após a aplicação do herbicida de acordo com escala de notas de 0 a 100% de intoxicação (FRANS, 1979), em que 0% corresponde à ausência de intoxicação e 100% à morte das plantas. Nessa escala a nota é atribuída de acordo com os sintomas de intoxicação por planta em relação ao bloco sem aplicação de herbicida. Controles superiores a 90% após o 28º dia foram considerados satisfatórios para o controle das plantas.

Para determinação da dose de herbicida que proporcionou 90% de controle, foi realizada análise de regressão no software Sigma Plot, correlacionando porcentagem de intoxicação visual e dose em cada formulação comercial de glyphosate. A equação de regressão escolhida foi aquela que apresentou melhor ajustamento ao fenômeno biológico, menor coeficiente de dispersão e significância dos coeficientes beta nas análises de regressão.

## **Resultados e discussão**

Observou-se para todos os herbicidas avaliados, um comportamento de aumento de porcentagem de controle com o decorrer do tempo em uma equação sigmoideal exponencial (Figuras 3, 4 e 5). Os dados originais de todos os herbicidas e doses avaliados podem ser visualizados no Anexo C.

A formulação Roundup Original® apresentou como melhor dose de controle, a concentração de 456 g.i.a. em equivalente ácido ha<sup>-1</sup> para a *Urochloa humidicola* (Figura 2 A) e 1000 g.i.a. em equivalente ácido ha<sup>-1</sup> para a *Urochloa brizantha* (Figura 2 B), representando uma dose comercial de 1,26 e 2,78 l ha<sup>-1</sup>.

Segundo a recomendação do fabricante, a dose comercial necessária para o controle eficiente de *Urochloa* é de 180 a 360 g.i.a. em equivalente ácido ha<sup>-1</sup> o que representa uma dose comercial de 0,5 a 1,0 l ha<sup>-1</sup>.

A dosagem recomendada de glyphosate pelo fabricante é, portanto, inferior ao encontrada nesse trabalho, possivelmente devido a espécie de braquiária registrada pelo fabricante, ser a espécie *Urochloa plantaginea* - caso isto tenha ocorrido pode ser que possivelmente haja uma sensibilidade distinta entre estas espécies.

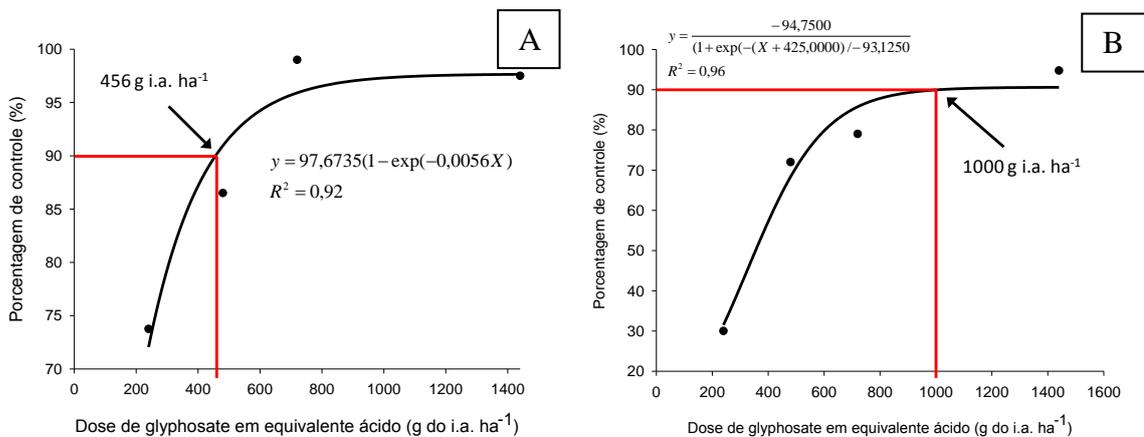


Figura 3 – Porcentagem de controle de *Urochloa humidicola* (A) e *Urochloa brizantha* (B) em função de diferentes doses de glyphosate da formulação comercial Roundup Original®.

Observou-se para formulação Roundup Ultra® que a melhor dose obtida foi de 318 g i.a. ha<sup>-1</sup> para a *U. humidicola* (Figura 4 A) e 793 g.i.a. em equivalente ácido ha<sup>-1</sup> para a *U. brizantha* (Figura 4 B), representando uma dose comercial de 0,49 e 1,22 Kg ha<sup>-1</sup>. A dose recomendada pelo fabricante é de 0,5 a 2 Kg ha<sup>-1</sup> da formulação comercial, estando um pouco acima do observado no experimento. Estudos com dosagens com essa formulação ainda são recentes, e não apresentam informações substanciais para uma melhor discussão.

Esta formulação possui como diferencial, oferecer adjuvantes na formulação que possibilite a absorção do produto pela planta em até duas horas, o que é de extrema importância para aplicação em locais com grande intensidade de chuva, como é observado em alguns meses do ano em Carajás.

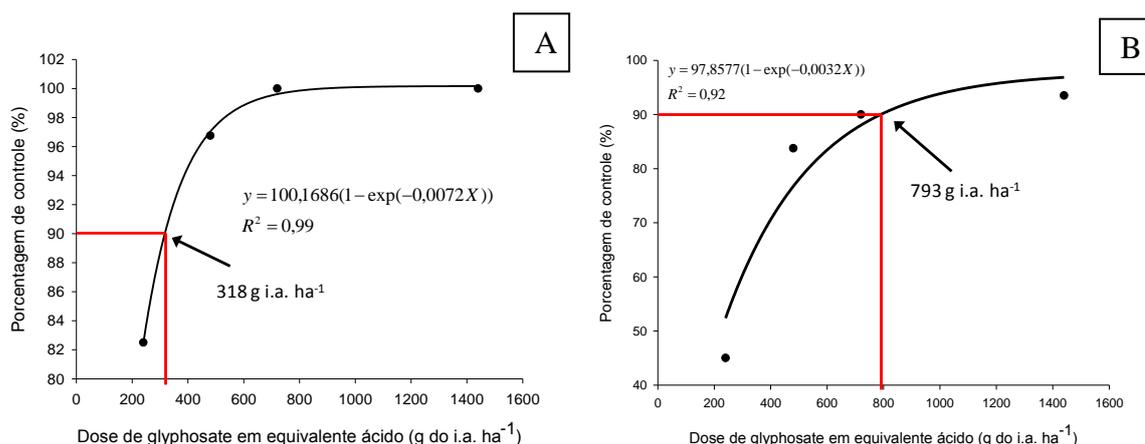


Figura 4 – Porcentagem de controle de *Urochloa humidicola* (A) e *Urochloa brizantha* (B) em função de diferentes doses de glyphosate da formulação comercial Roundup Ultra®.

Observou-se para formulação Roundup WG® que a melhor dose obtida foi de 423 g i.a. ha<sup>-1</sup> para a *U. humidicola* (Figura 5 A) e 873 g.i.a. em equivalente ácido ha<sup>-1</sup> para a *U. brizantha* (Figura 5 B), representando uma dose comercial de 0,59 e 1,21 Kg ha<sup>-1</sup>. A dose recomendada pelo fabricante é de 0,5 a 2 Kg ha<sup>-1</sup> da formulação comercial, estando um pouco acima do observado no experimento. A dose recomendada pelo fabricante é de 0,5 a 2,5 Kg ha<sup>-1</sup>, dentro do valor encontrado nesse trabalho.

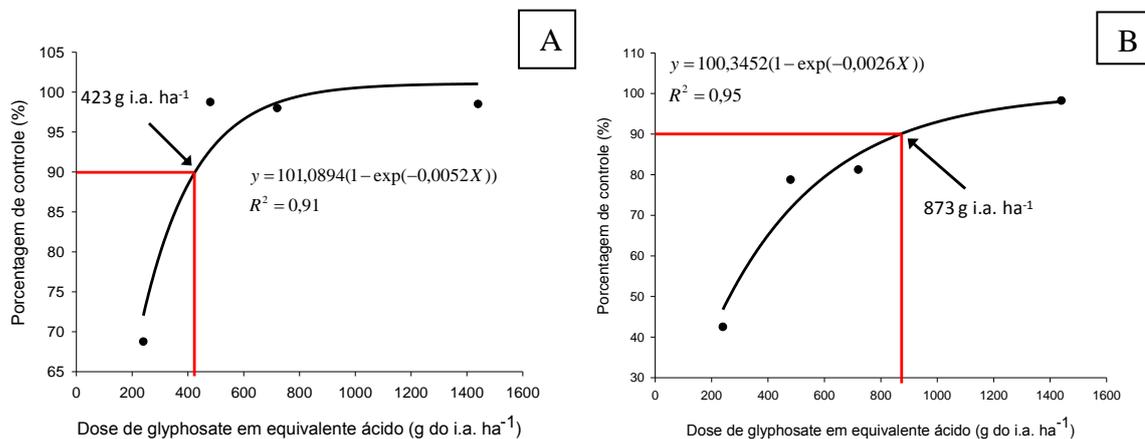


Figura 5 – Porcentagem de controle de *U. humidicola* (A) e *U. brizantha* (B) em função de diferentes doses de glyphosate da formulação comercial Roundup WG®.

A resposta distinta de controle em plantas do mesmo gênero foi observada por SILVA et al. (2002), que afirmaram ocorrer diferentes níveis de controle a depender da formulação comercial de herbicida adotada, mesmo que contenha o mesmo tipo de princípio ativo.

Outra característica é o tempo de absorção do herbicida pela epiderme foliar, a qual sofre influência direta do tipo de formulação encontrada e o intervalo entre a aplicação e a ocorrência da chuva, como observado por JAKELAITIS et al. (2001) e ROMAN (2001) que testaram diferentes intervalos entre aplicação e a ocorrência de chuva para uma melhor eficiência de controle por diferentes formulações de glyphosate.

A essas situações também deve ser acrescentado o fato de que formulações de uma mesma molécula podem apresentar o uso de adjuvantes em sua formulação, o que pode promover uma melhor absorção em determinada espécie de planta (LIU et al., 1996; DURIGAN, 1993; SINGH & MACK, 1993) além da tecnologia de aplicação e volume de calda adotado (PRASAD, 1992; VIANA et al., 2009; FREITAS et al., 2005).

## Conclusão

O herbicida glyphosate é eficiente no controle de *Urochloa humidicola* e *U. brizantha*.

Quanto maior a dosagem testada de herbicida maior a porcentagem de controle.

A melhor formulação comercial de herbicida para controle de *U. humidicola* foi Roundup Ultra® na dosagem de 318 g i.a. em equivalente ácido ha<sup>-1</sup> ou 0,49 Kg ha<sup>-1</sup> do produto comercial.

A melhor formulação comercial de herbicida para controle de *U. brizantha* foi Roundup WG® na dosagem de 873 g i.a. em equivalente ácido ha<sup>-1</sup> ou 1,21 Kg ha<sup>-1</sup> do produto comercial.

## Referências

- BARTH, R. C. Avaliação da recuperação de áreas mineradas no Brasil. **Boletim Técnico (SIF)**, Viçosa, n.1, p. 1-41, 1989.
- CAVALCANTI FILHO, L.F.M.; et al. Caracterização de pastagem de *Brachiaria decumbens* na Zona da Mata de Pernambuco. **Archivos de Zootecnia**, v.57, n.220, 2008.
- DURIGAN, J. C. **Efeitos de adjuvantes na aplicação e eficácia dos herbicidas**. Jaboticabal, FUNEP, 1993, 42p.

- FRANS, R. E. Measuring plant response. In: WILKINSON, R. E. (Ed.). Research methods in weed science. Melbourne: **Southern Weed Science Society**, 1972. p. 28-41. p.391-402. 2008.
- FREITAS, F.C.L. et al. Distribuição volumétrica de pontas de pulverização turbo teejet 11002 em diferentes condições operacionais. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 161-167, 2005.
- HODGSON, J. AND SILVA, S.C. 2002. Options in tropical pasture management. In: Reunião Annual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 39, 2002, Recife. **Anais...** Sociedade Brasileira de Zootecnia. Recife. p. 180-202.
- JAKELAITIS, A.; FERREIRA, L.R.; SILVA, A.A. e MIRANDA, G.V. Controle de *Digitaria horizontalis* pelos herbicidas Glyphosate, Sulfosate e Glifosate Potássico submetidos a diferentes intervalos de chuva após a aplicação. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.19, n.2, p.279-285, 2001.
- LIU, S. H.; CAMPBELL, R. A.; STUDENS, J. A.; WAGNER, R. G. Absorption and translocation of glyphosate in aspen (*Populus tremuloides* Michx.) as influenced by droplet size, droplet number, and herbicide concentration. **Weed Science**, v. 44, p. 482-488, 1996.
- LORENZI, H.; SOUZA, J. R. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas**. 5.ed. Nova Odessa-SP: Instituto Plantarum, p. 339, 2000.
- PRASAD, R.; CADOGAN, B. L. Influence of droplet size and density on phytotoxicity of three herbicides. **Weed Technology**. v. 6, n. 2, p. 415-423, 1992.
- RODRIGUES, P. S.; LEÃO, E. F.; CAMPOS, H. B. N.; BARRÊTO F. A.; FERREIRA, M. C. Efeito do glifosato aplicado em *Brachiaria decumbens* sob diferentes pontas de pulverização. In: XXVII Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, julho, 2010. **Anais...** Ribeirão Preto/ SP.
- ROMAN, E. S. Influência de chuva simulada na eficácia de diferentes formulações e doses de glifosato. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.2, n.3, p.119-124, 2001.
- SILVA, A.A. et al. Biologia de plantas daninhas. In: **Tópicos em manejo de Plantas Daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. 367 p.
- SINGH, M., MACK, R. E. Effect of organosilicone-based adjuvants on herbicide efficacy. **Pesticide Science**, v.38, n. 2&3, p. 219-25, 1993.
- VIANA, R. G. et al. Deposición transversal de líquido de las boquillas de doble abanico TTJ60-11004 y TTJ60-11002 em distintas condiciones operacionales. **Planta Daninha**, v. 27, n. 2, p. 397-403, 2009.

## **CAPÍTULO 2 – Avaliação da atividade microbiana como bioindicador do impacto ambiental de diferentes formulações e doses de glyphosate em solo da Floresta Nacional de Carajás**

**Resumo** – Objetivou-se avaliar a atividade microbiana como bioindicador do impacto ambiental de três formulações e cinco doses de glyphosate em solos da Floresta Nacional de Carajás. Foram utilizadas três formulações comerciais de glyphosate (Roundup Original<sup>®</sup>, Roundup Ultra<sup>®</sup> e Roundup WG<sup>®</sup>) e cinco dosagens (0, 240, 480, 720 e 1440 g de ingrediente ativo em equivalente ácido ha<sup>-1</sup>) com quatro repetições totalizando 15 tratamentos. Foi avaliada a atividade respiratória, o carbono da biomassa microbiana (CBM) e o quociente metabólico em dois períodos: 0 e 28 dias após a aplicação dos herbicidas. Não houve impacto dos herbicidas e suas diferentes doses em nenhum dos componentes avaliados, exceto no quociente metabólico com o uso do herbicida Roundup Original<sup>®</sup>. Os herbicidas não proporcionaram impacto na microbiota edáfica com relação à atividade respiratória e quociente metabólico.

**Palavras chave:** Herbicida. Roundup. Microbiota. Indicador ambiental.

### **Introdução**

Gramíneas do gênero *Urochloa* são plantas oriundas da África e foram introduzidas no Brasil com o intuito da formação de pastagens (PORTES et al., 2000). Devido a características botânicas e fisiológicas essas plantas são comumente utilizadas em áreas de mineração como cobertura vegetal para evitar a erosão de cavas, taludes, estradas e pilhas de estéril. Porém, a presença de plantas exóticas em áreas de proteção ambiental e Florestas Nacionais (FLONAS), são indesejáveis, pois podem reduzir a diversidade de plantas nativas, provocar homogeneização de ecossistemas e competir com espécies nativas (MIJANGOS et al. 2009; ARAÚJO et al., 2003).

O controle de gramíneas do gênero *Urochloa*, é feito com grande eficiência por meio do uso de herbicidas, principalmente o glyphosate (RODRIGUES, et al., 2010). No entanto, seu uso em áreas sensíveis como as

FLONAS necessita de maiores estudos no que concerne ao impacto ambiental do princípio ativo no desenvolvimento de organismos não alvos.

Uma das maneiras de se avaliar o impacto de herbicidas no solo é por meio de bioindicadores, sendo a quantificação da biomassa microbiana, atividade respiratória e quociente metabólico do solo uma importante ferramenta na verificação de impacto (SANTOS et al., 2006). A quantificação da biomassa microbiana possibilita avaliar as mudanças iniciais no conteúdo de matéria orgânica no solo, quando se utilizam práticas agrícolas diversas como aplicação de herbicidas (KINNEY et al., 2005).

Mudanças na biomassa microbiana podem ser detectadas muito antes que as alterações na matéria orgânica possam ser percebidas. A relação entre o CO<sub>2</sub> acumulado e o total do carbono da biomassa microbiana fornece o quociente metabólico ( $qCO_2$ ), pelo qual também se pode verificar a estabilidade e possíveis alterações na biomassa microbiana do solo.

Objetivou-se avaliar a atividade microbiana como bioindicador do impacto ambiental de diferentes formulações e doses de glyphosate em solo da Floresta Nacional de Carajás.

## Material e métodos

A evolução das atividades experimentais é ilustrada no Anexo B nas figuras de 19 e 20. O experimento foi realizado no laboratório multidisciplinar do Campus de Parauapebas e no Laboratório de Análises de Sistemas Sustentáveis na EMBRAPA Amazônia Oriental. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com quatro repetições e quinze tratamentos (três formulações de herbicida e cinco doses), conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2 – Descrição dos tratamentos.

Herbicidas	Dose de ingrediente ativo	Dose do produto comercial
	$g.i.a.ha^{-1*}$	$L ha^{-1}$ ou $Kg ha^{-1**}$
	0	0
Roundup Original®	240	0,7
	480	1,3

	720	2,0
	1440	4,0
Roundup Ultra®	0	0
	240	0,4
	480	0,7
	720	1,1
	1440	2,2
Roundup WG®	0	0
	240	0,3
	480	0,7
	720	1,0
	1440	2,0

\* Gramas de ingrediente ativo em equivalente ácido por hectare.

\*\*  $l\ ha^{-1}$  na formulação Roundup Original® e  $Kg\ ha^{-1}$  para as formulações Roundup Ultra® e Roundup WG®.

Foram coletadas amostras de solo na unidade experimental de Carajás em área sem aplicação de herbicidas, na profundidade de 0-10 cm com as características químicas e granulométricas descritas nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Análise química de solo da unidade experimental de Carajás.

pH água	N %	MO g/Kg	Granulometria g Kg <sup>-1</sup>			Ca	Ca+Mg cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Al	H+Al
			P -----	K mg/dm <sup>3</sup>	Na -----				
5,4	0,10	82,75	1	72	57	1,0	1,4	0,2	6,11

Tabela 4 – Análise granulométrica de solo da unidade experimental de Carajás.

Granulometria g Kg <sup>-1</sup>				Classificação
Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila total	
23	35	222	720	Argiloso

As amostras, foram passadas por peneira de 2 mm, secas ao ar e determinado o teor de água. Posteriormente, 500 g de cada amostra de solo foram colocadas em vasos plásticos revestidos internamente com sacos de polipropileno de maneira a se evitar a perda dos herbicidas por lixiviação.

Após o preparo dos vasos foi realizado o preparo das caldas de acordo com os tratamentos especificados na Tabela 2. Para aplicação do herbicida foi utilizado um pulverizador costal pressurizado a CO<sub>2</sub>, operando à pressão constante de 40 lib pol<sup>-2</sup>, com uma barra de 1,0 m equipada com duas pontas

de pulverização de jato plano TT11002, perfazendo uma faixa de aplicação de 2,0 m e um volume de calda proporcional a 90 l ha<sup>-1</sup>.

Imediatamente após a aplicação dos herbicidas, as amostras relativas à avaliação das características ao 0 dia após a aplicação, foram embaladas em sacos de polipropileno e mantidas sob refrigeração. Foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Sistemas Sustentáveis, da EMBRAPA Amazônia Oriental, para análise no dia posterior a aplicação. As amostras de 28 dias após a aplicação foram mantidas em casa-de-vegetação com regas diárias, de maneira a se manter 80% da capacidade de campo e ao 27º dia após a aplicação foram encaminhadas ao referido laboratório para análises do 28º dia.

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi mensurado utilizando o método de fumigação-incubação, conforme descrito por Jenkinson & Powlson (1976). Cinquenta gramas de solo foram expostos a clorofórmio por 24 h realizando incubação por 20 dias a temperatura de 25 °C. Findado o período, a produção de CO<sub>2</sub> foi determinada.

Uma duplicata das amostras não foi fumigada e foram incubadas na mesma condição em frascos herméticos de 600 ml. O CO<sub>2</sub> evoluído foi capturado em frascos contendo 100 ml de solução de NaOH 0,25 mol l<sup>-1</sup>. Após a incubação, a solução foi titulada com fenolftaleína com 0,5 N HCl na presença de BaCl<sub>2</sub>. O CO<sub>2</sub> capturado foi calculado por diferença das amostras de solo e por amostras brancas, sem adição de solo (Frioni, 1999). O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) foi estimado, pela relação entre o CO<sub>2</sub> acumulado e o CBM do solo.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e quando significativas, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## **Resultados e discussão**

### **a) Atividade Respiratória**

Não houve diferença para atividade respiratória entre a testemunha, sem aplicação de herbicida, com nenhuma das doses, épocas e formulações comerciais de herbicida (Figura 6, 7, 8 e Anexo D – tabelas 7 e 8).

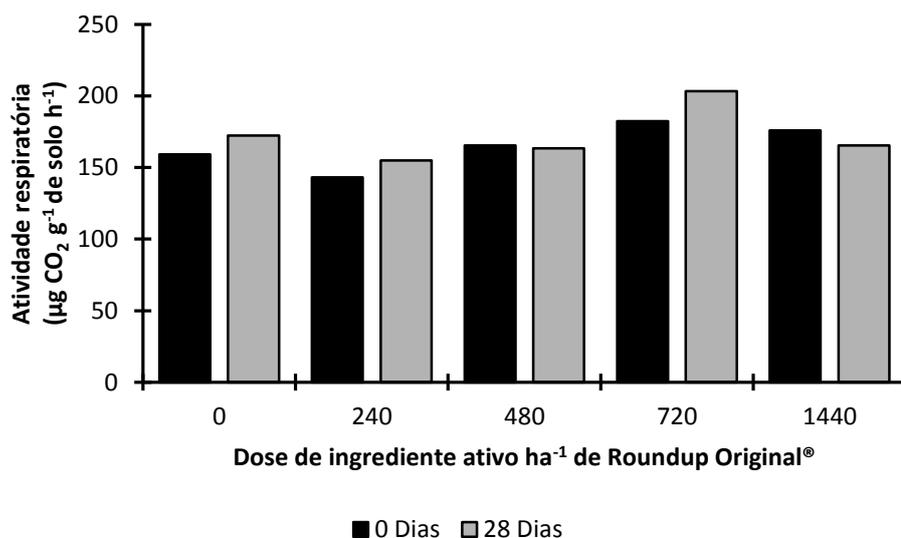


Figura 6 – Atividade respiratória aos 0 e 28 dias após a aplicação do herbicida Roundup Original®, nas doses: 0, 240, 480 720 e 1440 g ia ha<sup>-1</sup>. Não significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Resultados semelhantes são encontrados nos trabalhos de Gomez, et al. (2009), que não observaram alterações na atividade de respiratória sob diferentes dosagens de glyphosate aplicadas ao solo. Jakelaitis et al. (2007), também não observaram efeito deletério da aplicação de herbicidas sobre a atividade respiratória do solo cultivado com milho (*zea mays*) e *Brachiaria brizantha*. A molécula de glyphosate pode ser muitas vezes benéfica a atividade microbiana do solo, podendo resultar em maior atividade funcional da biomassa microbiana devido ser fonte de C, P e N (MIJANGOS et al., 2009)

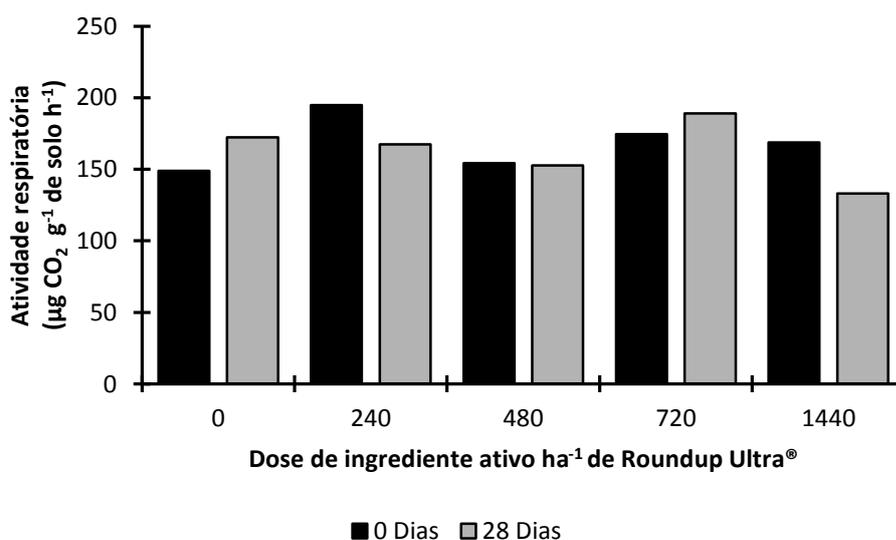


Figura 7 – Atividade respiratória aos 0 e 28 dias após a aplicação do herbicida

Roundup Ultra®, nas doses: 0, 240, 480 720 e 1440 g ia ha<sup>-1</sup>. Não significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

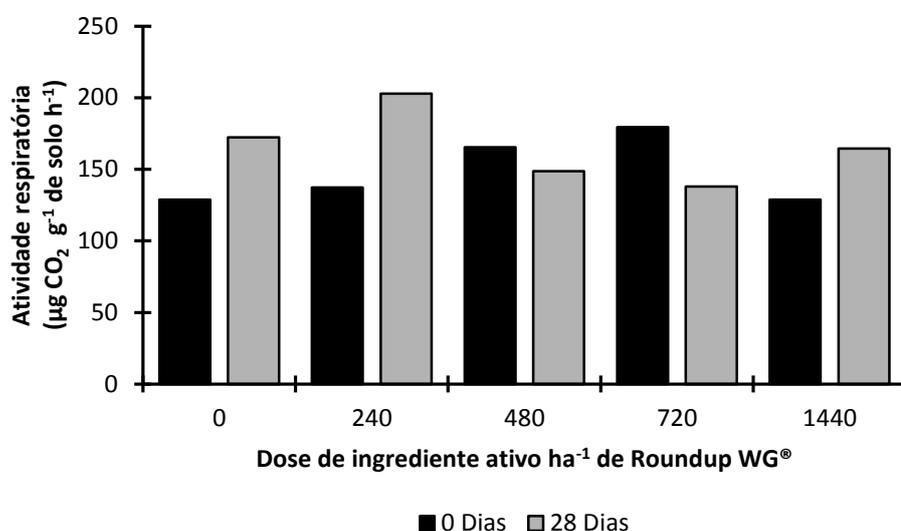


Figura 8 – Atividade respiratória aos 0 e 28 dias após a aplicação do herbicida Roundup WG®, nas doses: 0, 240, 480 720 e 1440 g ia ha<sup>-1</sup>. Não significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Quanto a atividade respiratória (Figuras 6, 7 e 8), observa-se que pode ser utilizado qualquer formulação e qualquer dose avaliada sem prejudicar a atividade microbiana do solo. Sendo os herbicidas avaliados seguros quanto ao impacto na microbiota do solo.

#### b) Carbono da biomassa microbiana (CBM).

Assim como na atividade respiratória, não houve diferença quanto ao CBM para todos os herbicidas, doses e épocas de aplicação avaliados (Figuras 9, 10, 11 e Anexo D – tabelas 9 e 10). Apresentando resultados iguais quando comparados com a testemunha, sem a aplicação de herbicida.

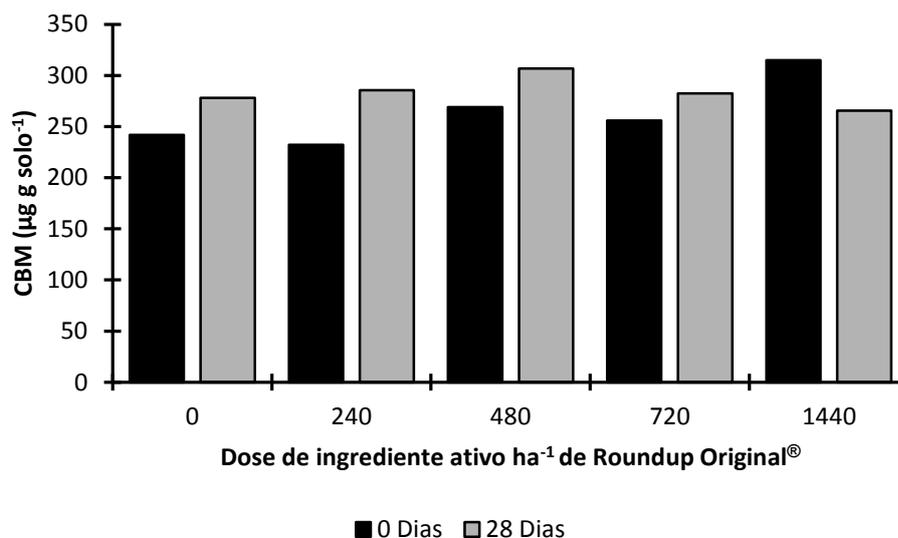


Figura 9 – Carbono da biomassa microbiana (CBM) aos 0 e 28 dias após a aplicação do herbicida Roundup Original®, nas doses: 0, 240, 480 720 e 1440 g ia ha<sup>-1</sup>. Não significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

O mesmo comportamento foi observado em diversos trabalhos (GOMEZ, et al. 2009; LANEA, et al., 2012; MIJANGOS et al., 2009; ARAÚJO et al., 2003 e MBANASO et al., 2014).

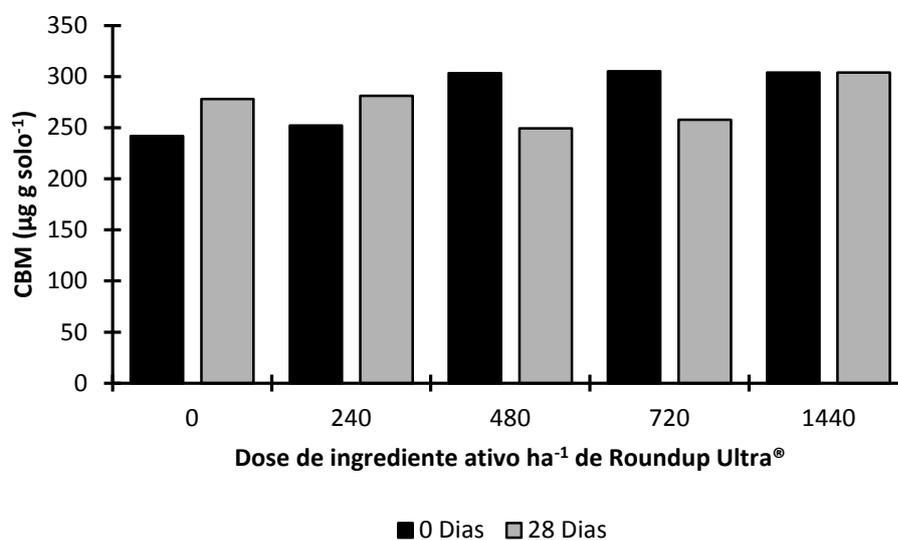


Figura 10 – Carbono da biomassa microbiana (CBM) aos 0 e 28 dias após a aplicação do herbicida Roundup Ultra®, nas doses: 0, 240, 480 720 e 1440 g ia ha<sup>-1</sup>. Não significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

A estimulação da microbiota do solo pela adição de glyphosate favorecendo o aumento da biomassa microbiana e menor quociente metabólico

foram relatados nos trabalhos de Dick & Quinn (1995) e Stratton & Stewart (1992).

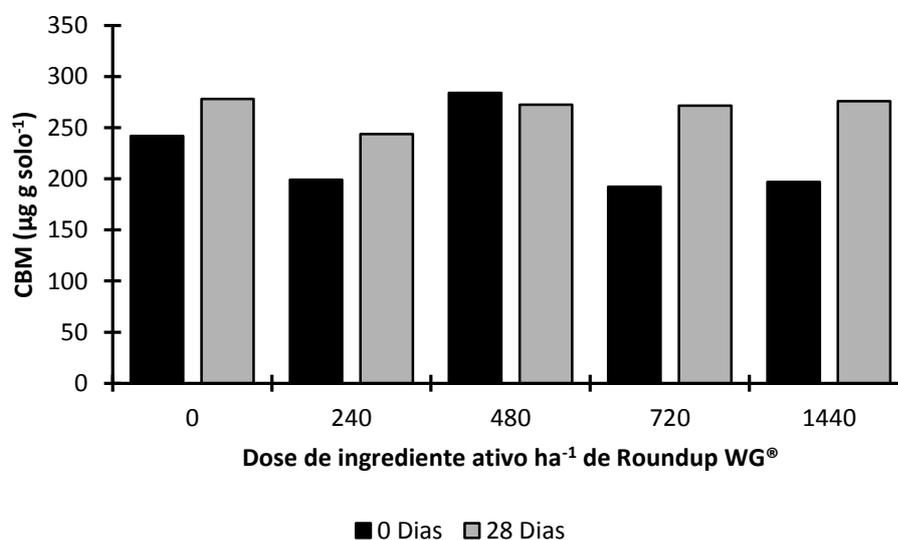


Figura 11 – Carbono da biomassa microbiana (CBM) aos 0 e 28 dias após a aplicação do herbicida Roundup WG<sup>®</sup>, nas doses: 0, 240, 480 720 e 1440 g ia ha<sup>-1</sup>. Não significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Haney et al. (2000) relatam que o glyphosate é inativado no solo devido a uma forte adsorção em argila do ácido fosfônico e diferentes hidróxidos. Como o solo da unidade experimental apresenta textura argilosa (Tabela 3), há uma maior adsorção da molécula glyphosate e por esse motivo não haver diferença entre a testemunha, sem aplicação de herbicida, e as demais dosagens avaliadas.

Portanto, o CBM não sofre efeito deletério das diferentes formulações e doses de herbicida. Podendo ser utilizado sem maiores danos para a microbiota do solo.

c) Quociente metabólico.

De maneira geral, todos os tratamentos apresentaram baixo  $qCO_2$ . O que é um fator benéfico, pois quanto menor, mais estável está a atividade microbiana, ou seja, menor impacto e perturbação (Figura 12, 13, 14 e Anexo D – tabelas 11 e 12).

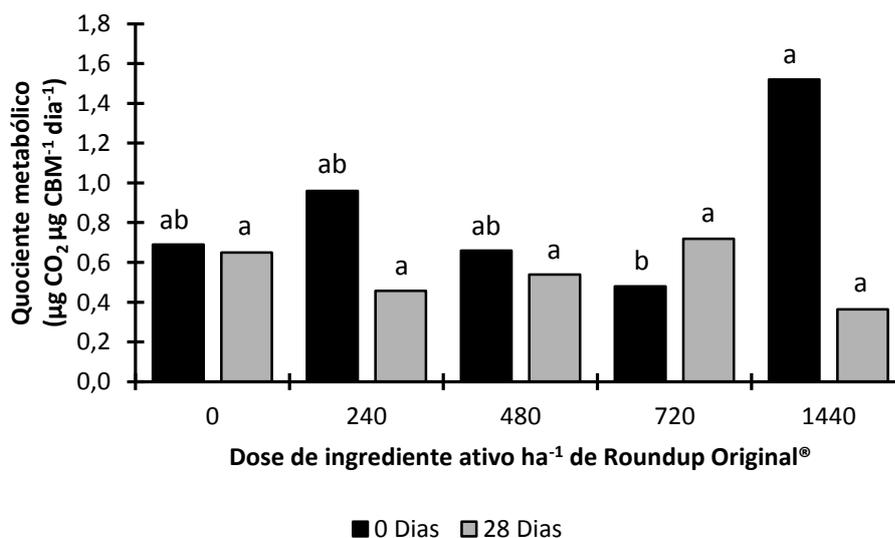


Figura 12 – Quociente metabólico ( $qCO_2$ ) aos 0 e 28 dias após a aplicação do herbicida Roundup Original®, nas doses: 0, 240, 480 720 e 1440 g ia ha<sup>-1</sup>. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si em uma mesma época de aplicação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No entanto observou-se que houve efeito deletério, com aumento diferindo da testemunha, aos 0 dias após a aplicação do herbicida Roundup Original®, na dose de 1440 g ia ha<sup>-1</sup> (Figura 11). Entretanto no 28º dia após a aplicação, não foi observado diferença com a testemunha, sendo assim há uma dissipação do efeito danoso à microbiota com o decorrer do tempo. O efeito do tempo na redução do quociente metabólico, foram observados por Gomez et al. (2009), com incremento do valor ao 4º dia após a aplicação de glyphosate com posterior redução a níveis iguais a testemunha após 45 dias da aplicação.

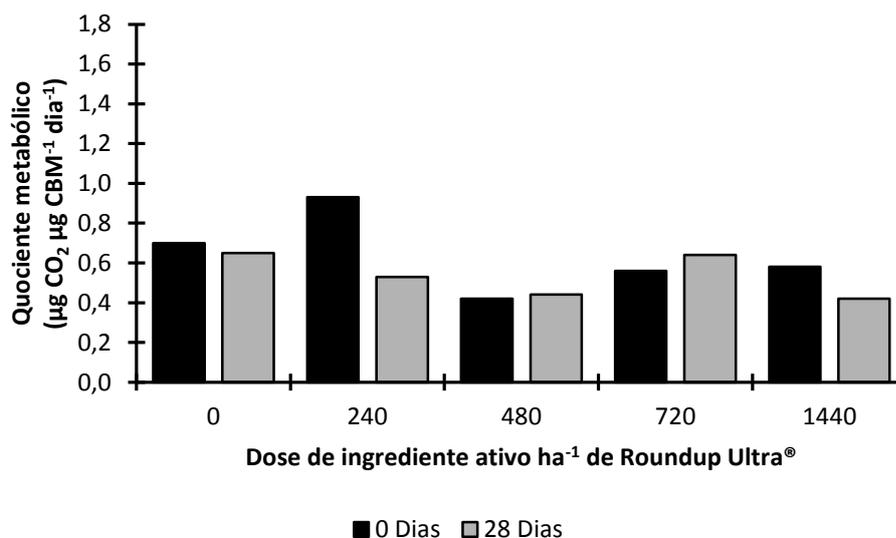


Figura 13 – Quociente metabólico ( $qCO_2$ ) aos 0 e 28 dias após a aplicação do herbicida Roundup Ultra<sup>®</sup>, nas doses: 0, 240, 480 720 e 1440 g ia ha<sup>-1</sup>. Não significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Não houve diferença do quociente metabólico quando utilizado os herbicidas Roundup Ultra<sup>®</sup> e Roundup WG<sup>®</sup> (Figura 12 e 13).

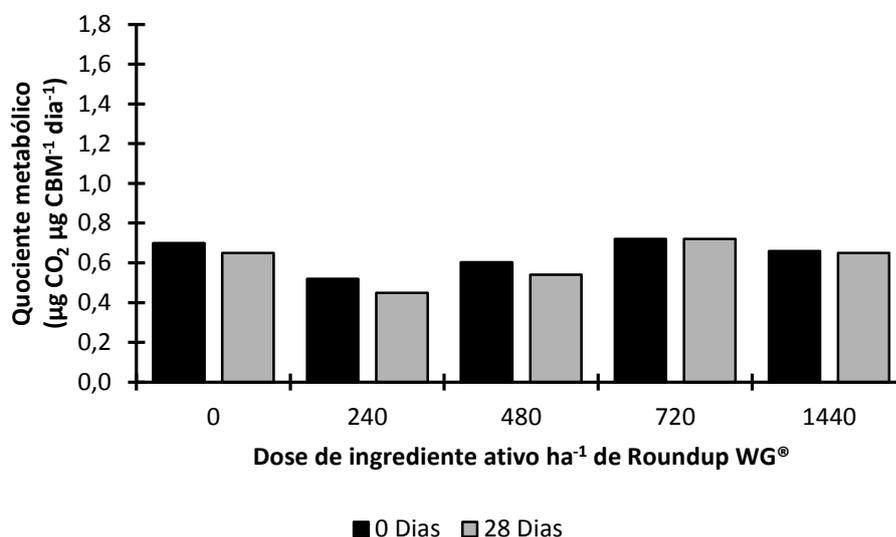


Figura 14 – Quociente metabólico ( $qCO_2$ ) aos 0 e 28 dias após a aplicação do herbicida Roundup WG<sup>®</sup>, nas doses: 0, 240, 480 720 e 1440 g ia ha<sup>-1</sup>. Não significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

O uso dos herbicidas em todas as condições avaliadas, com exceção ao 0 dia após a aplicação do herbicida Roundup Original<sup>®</sup>, na dose de 1440 g ia

ha<sup>-1</sup>, podem ser utilizados de maneira segura quanto a estabilidade do desenvolvimento microbiano.

## Conclusão

Não foi observado impacto na microbiota do solo em qualquer situação avaliada. Não foi observado efeito deletério das doses e herbicidas avaliados na microbiota do solo. Não há incremento de dano a microbiota do solo com o incremento da dose do herbicida. Qualquer dos três herbicidas ou doses avaliados podem ser utilizados sem riscos de impactos aos microrganismos do solo, segundo os critérios avaliados.

## Referências

ARAÚJO, A., MONTEIRO, R., ABARKELI, R. Effect of glyphosate on the microbial activity of two Brazilian soils. **Chemosphere**, v.52, p.799–804, 2003.

DICK, R.E.; QUINN, J.P. Glyphosate-degrading isolates from environmental samples: occurrence and pathways of degradation. **Appl. Microbiol. Biotechnol**, v.43, p.545–550, 1995.

FRIONI, L. **Procesos Microbianos**, Editorial Fundación Universidad Nacional de Rio IV, 1999, 332 pp.

GOMEZ, E.; FERRERAS, L.; LOVOTTIA, L.; FERNANDEZ, E. Impact of glyphosate application on microbial biomass and metabolic activity in a Vertic Argiudoll from Argentina. **European journal of soil biology**, v. 45, p. 163-167, 2009.

HANEY, R.L.; SENSEMAN, S.A.; HONS, E.M.; ZUBERER, D.A. Effect of glyphosate on soil microbial activity and biomass. **Weed Sci.** v.48, 89–93, 2000.

JAKELAITIS, A.; SANTOS, J.B.; VIVIAN, R.; SILVA, A.A. Atividade microbiana e produção de milho (*Zea mays*) e de *Brachiaria brizantha* sob diferentes métodos de controle de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v.25, n.1, p.71-78, 2007.

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. **Soil Biol. Biochem.**, v.8, p.209–213, 1976.

KINNEY, C.A.; MANDERNACK, K.W.; MOSIER, A.R. Laboratory investigations into the effects of the pesticides mancozeb, chlorothalonil, and prosulfuron on nitrous oxide and nitric oxide production in fertilized soil. **Soil Biol. Biochem.**, v.37, p.837-850, 2005.

LANEA, M.; LORENZA, N.; SAXENAA, J.; RAMSIERB, C.; DICKA, R.P. The effect of glyphosate on soil microbial activity, microbial community structure, and soil potassium. **Pedobiologia**, n.55, p.335– 342, 2012.

MBANASO, F.U.; COUPE, S.J.; CHARLESWORTH, S.M.; NNADI, E.O.; IFELEBUEGU, A.O. Potential microbial toxicity and non-target impact of different concentrations of glyphosate-containing herbicide (GCH) in a model pervious paving system. **Chemosphere**, n.100, p.34–41, 2014.

MIJANGOS, I.; BECERRIL, J.M.; ALBIZU, I.; EPELDE, L.; GARBISU, C. Effects of glyphosate on rhizosphere soil microbial communities under two different plant compositions by cultivation-dependent and independent methodologies. **Soil Biology & Biochemistry**, v.41, p.505-513, 2009

PORTES, T.A.; et al. Análise de crescimento de uma cultivar de braquiária em cultivo solteiro e consorciado e cereais. **Pesq. Agrop. Bras.** v. 35, n. 7, p. 1349-1358. 2000.

STRATTON, G.W.; STEWART, K.E. Glyphosate effects on microbial biomass in a coniferous forest soil. **Environ. Toxicol. Water Qual.** v.17, p.223–236, 1992.

RODRIGUES, P.S.; LEÃO, E.F.; CAMPOS, H.B.; BARRÊTO F.A.; FERREIRA, M.C. Efeito do glifosato aplicado em *Brachiaria decumbens* sob diferentes pontas de pulverização. In: XXVII Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, julho, 2010. **Anais...** Ribeirão Preto/ SP.

SANTOS, J.B.; et al. Action of two herbicides on the microbial activity of soil cultivated with common bean (*Phaseolus vulgaris*) in conventional-till and no-till systems. **Weed research**, v.46, n.04, p.284-289, 2006.

## ANEXOS

### ANEXO A – Evolução de atividades do experimento: Efeito de diferentes formulações e doses de glyphosate no controle de *Urochloa humidicola* e *Urochloa brizantha* na Floresta Nacional de Carajás

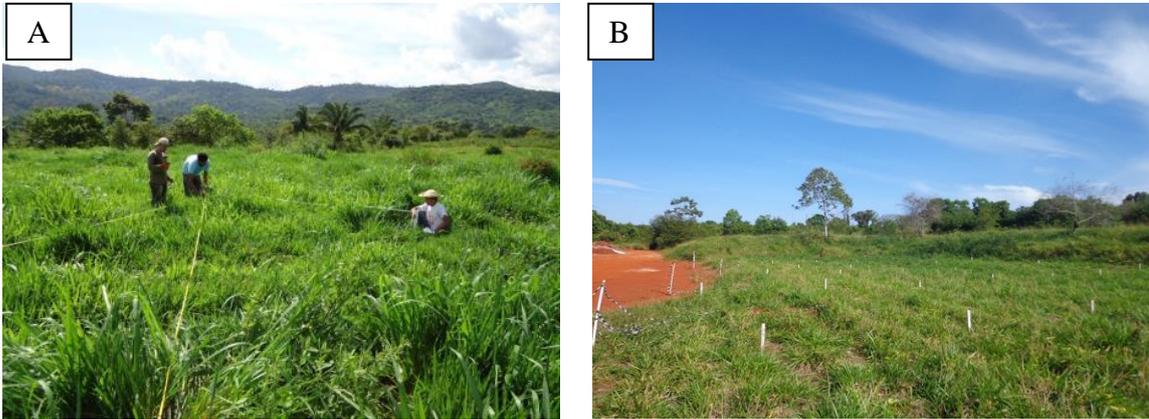


Figura 15 – Detalhe do alinhamento de piquetes pelo método de alinhamento por medidas de triângulo retângulo (A) e área com a delimitação dos blocos (B).

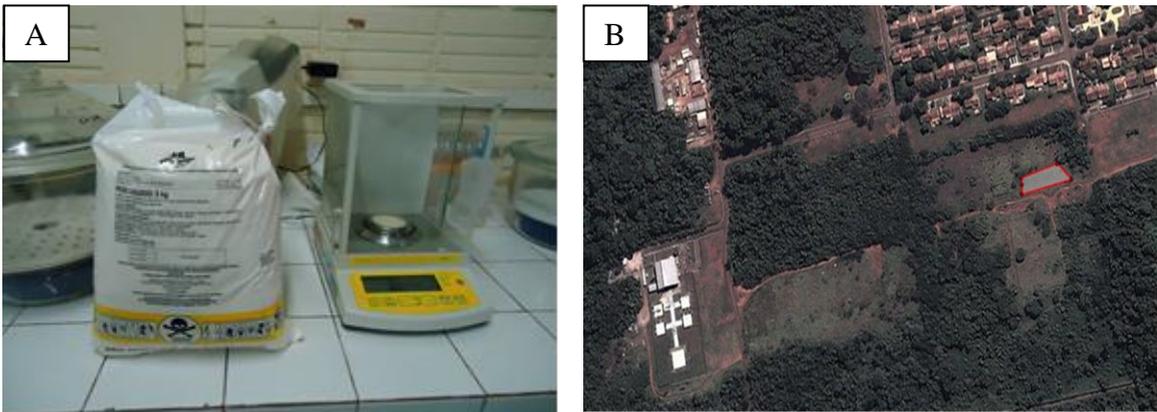


Figura 16 – Detalhe da pesagem do herbicida Roundup Ultra® em uma balança Analítica de precisão (A). (B) Delimitação da área experimental em linha vermelha em Serra Norte (Google Earth®).



Figura 17 – Equipe de aplicação de herbicida (A). Aplicação do herbicida com barra e balizamento da aplicação (B).

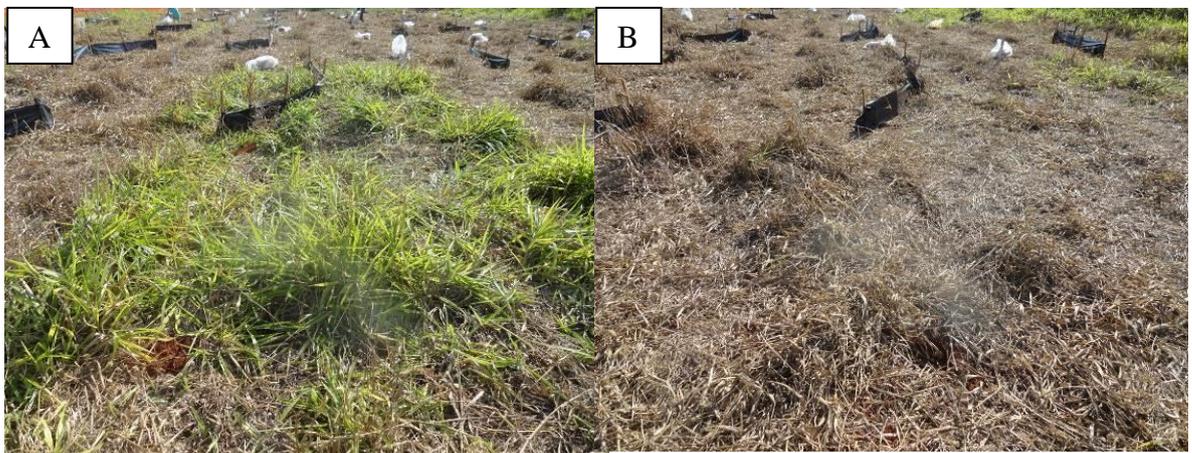


Figura 18 – Análise de fitotoxidez por meio de diagnóstico visual conforme a metodologia adotada pro Frans (1979). Testemunha (A) e bloco com 100 % de fitotoxidez (B).

**ANEXO B – Evolução de atividades do experimento: Avaliação da atividade microbiana como bioindicador do impacto ambiental de diferentes formulações e doses de glyphosate em solo da Floresta Nacional de Carajás.**

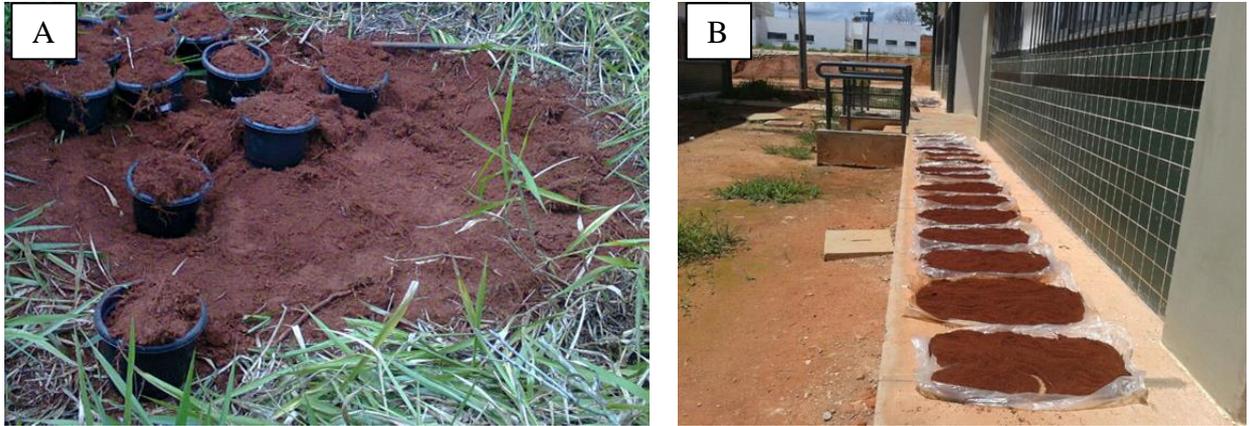


Figura 19 – Coleta de solo da camada de 0-10 cm (A) e secagem de amostras de solo (B).



Figura 20 – Revestimento de vasos com sacos de polietileno (A) e preenchimento com solo peneirado e seco ao ar (B).

## ANEXO C

Tabela 5 – Dados brutos da porcentagem de controle de *Urochloa humidicola* por diferentes doses e formulações comerciais de glyphosate.

Herbicida	Dose de ingrediente ativo g.i.a.ha <sup>-1*</sup>	Repetição	% de controle
Roundup Original®	0	1	0,00
		2	0,00
		3	0,00
		4	0,00
	240	1	11,25
		2	40,00
		3	56,87
		4	39,58
	480	1	42,50
		2	75,00
		3	80,75
		4	86,50
	720	1	48,75
		2	92,5
		3	95,75
		4	99,00
	1440	1	63,75
		2	95,00
		3	96,25
		4	97,50
Roundup Ultra®	0	1	0,00
		2	0,00
		3	0,00
		4	0,00
	240	1	21,25
		2	52,50
		3	67,50
		4	82,50
	480	1	30,00
		2	87,50
		3	92,12
		4	96,75
	720	1	42,50
		2	95,00

		3	97,50
		4	100
		1	60,00
	1440	2	95,00
		3	97,50
		4	100,00
		1	0,00
	0	2	0,00
		3	0,00
		4	0,00
		1	22,50
	240	2	45,00
		3	56,87
		4	68,75
		1	31,25
Roundup WG®	480	2	93,75
		3	96,25
		4	98,75
		1	50,00
	720	2	95,00
		3	96,50
		4	98,00
		1	68,75
	1440	2	95,00
		3	96,75
		4	98,50

Tabela 6 – Dados brutos da porcentagem de controle de *Urochloa brizantha* por diferentes doses e formulações comerciais de glyphosate.

Herbicida	Dose de ingrediente ativo g.i.a.ha <sup>-1*</sup>	Repetição	% de controle
		1	0,00
	0	2	0,00
		3	0,00
		4	0,00
		1	8,75
	240	2	21,25
		3	17,50
		4	45,00
		1	5,00
	480	2	13,75
		3	22,50
		4	73,75
		1	17,50
	720	2	46,37
		3	47,50

		4	84,25
		1	30,00
	1440	2	79,00
		3	72,50
		4	94,75
		1	0,00
	0	2	0,00
		3	0,00
		4	0,00
		1	10,00
	240	2	25,00
		3	30,00
		4	45,00
		1	33,75
Roundup Ultra®	480	2	23,75
		3	30,00
		4	76,25
		1	24,37
		2	53,75
	720		56,87
		3	84,875
		4	83,20
		1	45,00
	1440	2	83,75
		3	87,50
		4	93,50
		1	0,00
	0	2	0,00
		3	0,00
		4	0,00
		1	15,00
	240	2	26,25
		3	21,25
		4	45,00
		1	6,25
Roundup WG®	480	2	22,5,
		3	36,25
		4	71,25
		1	24,37
		2	50,62
	720	3	58,75
		4	84,75
		1	42,50
	1440	2	78,75
		3	81,25
		4	98,25

## ANEXO D

Tabela 7 – Análise de variância da atividade respiratória aos 0 dias após a aplicação do herbicida.

FV	GL	SQ	QM
Herbicida	2	5371.524083	2685.762042 <sup>ns</sup>
Dose	4	38119.420293	9529.855073 <sup>ns</sup>
Repetição	3	19848.626547	6616.208849 <sup>ns</sup>
Herbicida x Dose	8	51941.821417	6492.727677 <sup>ns</sup>
Resíduo	42	250824.600953	5972.014308
CV(%)	59,07		

\*\* e \* Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

<sup>ns</sup> Não significativo.

Tabela 8 – Análise de variância da atividade respiratória aos 28 dias após a aplicação do herbicida.

FV	GL	SQ	QM
Herbicida	2	701.875750	350.937875 <sup>ns</sup>
Dose	4	34378.186410	8594.546603 <sup>ns</sup>
Repetição	3	4845.883073	1615.294358 <sup>ns</sup>
Herbicida x Dose	8	30166.177050	3770.772131 <sup>ns</sup>
Resíduo	42	104208.608777	2481.157352
CV(%)	33,06		

\*\* e \* Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

<sup>ns</sup> Não significativo.

Tabela 9 – Análise de variância do carbono da biomassa microbiana aos 0 dias após a aplicação do herbicida.

FV	GL	SQ	QM
Herbicida	2	26059.492403	13029.746202 <sup>ns</sup>
Dose	4	103482.954223	25870.738556 <sup>ns</sup>
Repetição	3	62982.849173	20994.283058 <sup>ns</sup>
Herbicida x Dose	8	72721.067647	9090.133456 <sup>ns</sup>
Resíduo	42	393779.731127	9375.707884
CV(%)	42,19		

\*\* e \* Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

<sup>ns</sup> Não significativo.

Tabela 10 – Análise de variância do carbono da biomassa microbiana aos 28 dias após a aplicação do herbicida.

FV	GL	SQ	QM
Herbicida	2	997.243143	498.621572 <sup>ns</sup>
Dose	4	8269.120717	2067.280179 <sup>ns</sup>
Repetição	3	6877.546938	2292.515646 <sup>ns</sup>
Herbicida x Dose	8	23239.037273	2904.879659 <sup>ns</sup>
Resíduo	42	158986.723187	3785.398171
CV(%)	22,00		

\*\* e \* Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

<sup>ns</sup> Não significativo.

Tabela 11 – Análise de variância do quociente metabólico aos 0 dias após a aplicação do herbicida.

FV	GL	SQ	QM
Herbicida	2	0.910870	0.455435 <sup>ns</sup>
Dose	4	0.937777	0.234444 <sup>**</sup>
Repetição	3	2.573953	0.857984 <sup>ns</sup>
Herbicida x Dose	8	4.067463	0.508433 <sup>ns</sup>
Resíduo	42	9.524197	0.226767
CV(%)	68,32		

<sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup> Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.  
<sup>ns</sup> Não significativo.

Tabela 12 – Análise de variância do quociente metabólico aos 28 dias após a aplicação do herbicida.

FV	GL	SQ	QM
Herbicida	2	0.003423	0.001712 <sup>ns</sup>
Dose	4	0.496367	0.124092 <sup>ns</sup>
Repetição	3	0.208253	0.069418 <sup>ns</sup>
Herbicida x Dose	8	0.180493	0.022562 <sup>ns</sup>
Resíduo	42	2.032797	0.048400
CV(%)	59,32		

<sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup> Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.  
<sup>ns</sup> Não significativo.