

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**EFEITO DO GLYPHOSATE NO CRESCIMENTO,  
PRODUÇÃO E QUALIDADE DA MADEIRA DO EUCALIPTO  
(*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*)**

**Tiago Pereira Salgado**

Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

**2010**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DO GLYPHOSATE NO CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E  
QUALIDADE DA MADEIRA DO EUCALIPTO (*Eucalyptus  
grandis x E. urophylla*)**

**Tiago Pereira Salgado**

**Orientador: Prof. Dr. Pedro Luis da C. A. Alves**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Setembro de 2010

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**TIAGO PEREIRA SALGADO – nasceu em 17 de fevereiro de 1979, em Ribeirão Preto, SP. Ingressou na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal – UNESP em 1997, concluindo o curso de graduação em Agronomia no ano de 2001. Durante boa parte da graduação dedicou-se como bolsista à iniciação científica. Em agosto de 2002 ingressou no curso de Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) na UNESP/Jaboticabal, finalizando-o em dezembro de 2004. Ainda durante o Mestrado fundou a empresa HERBAE – Consultoria e Projetos Agrícolas – Ltda, na qual desempenha atividades até o momento. Ingressou no curso de Doutorado em Agronomia (Produção Vegetal), no segundo semestre de 2006, na mesma instituição.**

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	ii
SUMMARY.....	iv
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	03
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1. Ensaio em condições semi-controladas.....	22
4.2. Ensaio em condições de campo.....	33
4.2.1. Primeira época de aplicação (Época 1) – Vinte e cinco dias após o plantio.....	33
4.2.2. Segunda época de aplicação (Época 2) – Noventa dias após o plantio.....	38
4.2.3. Terceira época de aplicação (Época 3) – Cento e cinquenta dias após o plantio.....	43
4.2.4. Quarta época de aplicação (Época 4) – Duzentos e dez dias após o plantio.....	47
4.2.5. Quinta época de aplicação (Época 5) – Duzentos e setenta dias após o plantio.....	52
4.3. Teor de lignina total (%), holocelulose (%), extrativos (%) e densidade básica da madeira ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) do caule de eucalipto, submetido a doses de glyphosate aos 90 dias após o plantio (época 3).....	53
4.4. Rendimento ao cozimento (NIR) em função de épocas de aplicação e doses de glyphosate.....	54
5. CONCLUSÕES.....	58
6. REFERÊNCIAS.....	59

## 1 INTRODUÇÃO

As estatísticas resultantes das exportações do setor florestal são destaque no agronegócio brasileiro. Com saldo de 3,7 bilhões de dólares no ano de 2009, o que representa 14,4 % do saldo positivo da balança comercial do país (BRACELPA, 2009), está atraindo investimentos, gerando empregos e arrecadando impostos. Para aumentar a produção e, conseqüentemente, manter o crescimento do setor e aumentar ainda mais a competitividade, deve-se fazer um controle adequado das plantas daninhas.

Dentre os diferentes métodos de controle das plantas daninhas, o controle químico é o mais recomendado. Neste contexto, pela elevada relação custo-benefício, o herbicida glyphosate é o produto mais utilizado no setor. Para proporcionar um controle eficiente das plantas daninhas, são feitas de duas a cinco aplicações por ano, dependendo do grau de infestação, das espécies de plantas daninhas, das condições climáticas, época de plantio da cultura e crescimento do eucalipto.

Apesar do glyphosate possuir uma série de características adequadas ao manejo florestal, algumas dessas características, a exemplo do elevado espectro de ação e da alta eficiência no controle de plantas, também o torna altamente perigoso para a cultura. A não seletividade do herbicida, o plantio sendo feito durante todo ano, aplicações em condições climáticas inadequadas, o aumento progressivo de áreas com plantio de culturas tolerantes ao glyphosate (transgênicos), têm sido o motivo de vários relatos de danos a culturas agrícolas, inclusive a do eucalipto. A deriva de herbicidas, que por definição é o desvio da trajetória das partículas liberadas pelo processo de aplicação (MATUO, 1990), continua sendo um dos grandes problemas da agricultura. Estima-se que mesmo em condições ambientais adequadas, a deriva de herbicidas varia em torno de 5 a 9 % do total aplicado (BODE, 1984). Essas gotas passíveis de deriva, que geralmente são menores que 100  $\mu\text{m}$ , podem chegar a até 40 metros de distância do local aplicado (CUNHA, 2008).

Os efeitos da deriva de glyphosate têm provocado uma série de discussões. Todavia, alguns trabalhos apontam para os efeitos positivos da aplicação de subdoses do herbicida glyphosate em culturas agrícolas, enquanto outros trabalhos indicam para uma série de efeitos negativos, em cascata, relacionados a efeitos diretos ou indiretos da rota do ácido chiquímico que é inibida pelo herbicida.

Estudos indicam que os efeitos metabólicos provocados pela aplicação de subdoses de glyphosate são rápidos e transitórios (GRAVENA, 2006); são dependentes da espécie, idade da planta, condições ambientais no momento das aplicações, de adaptações edafoclimáticas, do tempo decorrido entre a deriva e efetivamente a colheita da cultura.

Entretanto, na grande maioria destes trabalhos, os efeitos da deriva são avaliados apenas durante uma pequena fase do desenvolvimento da cultura, induzindo os pesquisadores, muitas vezes, a conclusões incompletas e até equivocadas. Em culturas perenes, por causa do tempo relativamente longo entre as pulverizações e a colheita, essas conclusões podem ser ainda mais questionáveis.

Como o risco da deriva acidental no campo é muito evidente e os trabalhos de pesquisa visando a produtividade de culturas perenes sob estas condições são escassos, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento e produção de eucalipto quando exposto a doses de glyphosate em estágios iniciais de desenvolvimento.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Após uma desacelerada no crescimento do setor florestal por causa da crise mundial, o ano de 2010 está sendo marcado pela retomada de consumo e investimentos. Atualmente, o Brasil é o quarto maior país produtor de celulose, ficando atrás de Estados Unidos, China e Canadá. Em uma área plantada de aproximadamente 2,0 milhões de hectares para fins industriais, possui a maior produtividade do mundo e vem atraindo muitos investimentos externos (ABRAF, 2009). Para garantir a expressão do teto produtivo dos materiais genéticos de eucalipto, suprir a demanda de consumo e consolidar o avanço do setor, um bom manejo das plantas daninhas deverá ser realizado.

Dentre os conceitos de plantas daninhas, BLANCO (1972) define como sendo “toda e qualquer planta que germine espontaneamente em áreas de interesse humano e que, de alguma forma, interfira prejudicialmente nas atividades agrícolas”. De acordo com PITELLI (1987), a interferência refere-se ao conjunto de ações que recebe uma determinada cultura ou atividade do homem, em decorrência da presença das plantas daninhas num determinado ambiente.

A presença de plantas daninhas em florestas provoca inúmeros distúrbios ecológicos (ALVES, 1992) e normalmente são encontradas na cultura do eucalipto desde sua fase de pré-plantio até a colheita. Segundo PITELLI & KARAM (1991), elas podem interferir nos fatores ligados ao seu crescimento, os chamados fatores bióticos ou abióticos (como a disponibilidade de água, nutrientes do solo, luminosidade e outros). Essa interferência pode ser direta: pela competição, alelopatia e parasitismo, e indireta, causando dificuldades na colheita e tratos culturais, atuando como hospedeiras intermediárias de pragas, doenças e nematóides ou ainda depreciando a qualidade do produto. A interferência das plantas daninhas com a cultura deve-se principalmente pela competição por recursos do meio que são essenciais ao crescimento.

O grau de interferência das plantas daninhas em florestas de eucalipto depende das manifestações de fatores ligados à própria cultura (espécie, variedade ou clone, espaçamento e densidade de plantio), à comunidade

infestante (composição específica, densidade e distribuição), a época e extensão do período de convivência, além das alterações pelas condições climáticas, edáficas e dos tratos culturais (PITELLI & KARAM, 1988).

Com relação à época e duração da convivência da cultura com as plantas daninhas, PITELLI & DURIGAN (1984) denominam de período anterior a interferências (PAI) o período, a partir do plantio, durante o qual a cultura pode conviver com as plantas daninhas sem que ocorram reduções na sua produtividade. Os autores denominaram de período total de prevenção a interferência (PTPI) o período, a partir do plantio, durante o qual as plantas daninhas devem ser controladas para que a cultura possa manifestar plenamente seu potencial produtivo. Quando o PTPI é mais longo que o PAI, define-se um intervalo delimitado por ambos e denominado período crítico de prevenção de interferência (PCPI), que representa o período pelo qual efetivamente a cultura deve ser mantida na ausência das plantas daninhas.

Estudando os períodos de interferência em eucalipto, TOLEDO (1998) concluiu que plantas jovens de *Eucalyptus urograndis* convivendo principalmente com *Brachiaria decumbens* apresentaram período anterior à interferência (PAI) inferior a 14-28 dias e que para garantir o desenvolvimento inicial da cultura, esta apresenta um período total de prevenção à interferência (PTPI) ao redor de 196 dias, sendo o período crítico de prevenção à interferência (PCPI) de 14-28 a 196 dias após o transplante. Populações de *Brachiaria decumbens*, *Spermacoce latifolia* e *Cyperus rotundus* interferiram sobre o crescimento de *E. grandis* resultando em PTPI entre 180 e 210 dias, causando reduções de 2 a 5% no volume de madeira aos 50 meses após o plantio (TOLEDO, 2002).

Segundo PITELLI & MARCHI (1991), a interferência imposta pelas plantas daninhas é mais severa na fase inicial de crescimento do eucalipto, ou seja, do plantio até cerca de um ano de idade. Corroborando com os autores supracitados, KOGAN (1992) pondera que a pressão de competição que as plantas daninhas exercem em espécies perenes será maior em plantações recém-estabelecidas ou jovens. Dessa forma os esforços para o controle das plantas daninhas devem ser realizados nessas fases de maior interferência.



Contudo, estudos mais recentes indicam que as plantas de eucalipto que sofreram com a competição inicial de plantas daninhas apresentam grande capacidade de recuperação, o que resulta na diminuição dos períodos críticos de interferência quando a avaliação do desempenho é realizada após maiores períodos (TAROUCO et al. 2009; GARAU et al. 2009). TOLEDO et al. (2003) verificaram que para a variável volume de madeira produzido por hectare, o PTPI foi de 142 dias aos 36 meses, 91 dias aos 48 meses, e 79 dias aos 78 meses após o plantio, o que também demonstra a capacidade de recuperação das plantas de eucalipto. Isso ocorre provavelmente pelo fato da cultura apresentar um ciclo relativamente longo, e alguns materiais de eucalipto proporcionarem elevada resposta a adubação, quando em condições edafoclimáticas adequadas. Desta forma, nos estudos relacionados a estresses iniciais em culturas de longo ciclo, como é o caso do eucalipto, as avaliações devem ser feitas até a colheita, para que se tenha tempo hábil de avaliar esta possível recuperação quantitativa e qualitativa das plantas.

Independentemente da época de plantio (chuva ou seca) as plantas daninhas interferem no crescimento do eucalipto. COSTA (1999) constatou que a densidade crítica de interferência de erva-quente (*Spermacoce latifolia* Aubl.) sobre mudas de eucalipto varia entre 8 plantas.m<sup>-2</sup> no verão e 4 plantas.m<sup>-2</sup> no inverno; enquanto para a trapoeraba (*Commetlina benghalensis* L.) a densidade crítica foi de 4 plantas.m<sup>-2</sup> em ambas as épocas.

Comparando a eficiência do uso de água por duas espécies de eucalipto (*E. grandis* e *E. citriodora*) na presença ou não da *Brachiaria brizantha*, SILVA et al. (2004) concluíram que as três espécies são eficientes quanto ao uso de água, e que a presença da *Brachiaria brizantha* foi prejudicial ao desenvolvimento do eucalipto independente do teor de água no solo.

Dessa maneira, medidas de controle das plantas daninhas devem ser realizadas em qualquer época do ano. De acordo com TOLEDO et al. (2003), o controle químico das plantas daninhas é o método mais recomendado para o setor florestal. O glyphosate é o herbicida mais usado no setor e têm sido aplicado na dessecação pré-plantio, controle das plantas daninhas na linha e entrelinha e

também no controle da rebrota do eucalipto nas entrelinhas. Em reflorestamentos, o gasto com de herbicidas no ano de 2009 foi de aproximadamente 40 milhões de dólares (SINDAG, 2009).

Apesar de todos os cuidados, o controle químico aumenta o risco da deriva acidental, pois as pulverizações podem ser feitas sob as mais diferentes condições climáticas. Normalmente são feitas de duas a cinco pulverizações no primeiro ano de estabelecimento da cultura. Ainda existe o risco de intoxicações causadas por aplicações inadequadas de herbicidas em áreas adjacentes (TAKAHASHI et al. 2009). De forma generalizada, o herbicida glyphosate pode ser definido como sendo não seletivo às culturas, de ação sistêmica nas plantas daninhas e sem efeito residual no solo (RODRIGUES & ALMEIDA, 2005). Portanto, o emprego deste herbicida deve cercar-se de uma série de cuidados para se evitar os problemas relativos à deriva. Esta deriva pode atingir a própria cultura, cultivos vizinhos e/ou alvos indesejáveis, até intoxicações sofridas pelo homem e animais, além de conseqüências muitas vezes irreversíveis ao ambiente (AMARAL & PINTO, 1998; GIL & SINFORT, 2005).

A deriva de agrotóxicos continua sendo um dos maiores problemas da agricultura moderna (SUMMER & SUMMER, 1999; TSAI et al. 2005). O desvio da trajetória impede que as gotas produzidas atinjam seu alvo. Vários pesquisadores consideram que gotas menores que 100  $\mu\text{m}$  são facilmente carregadas pelo vento, sofrendo mais intensamente a ação dos fenômenos climáticos (SUMMER, 1997; WOLF, 2000). De acordo com ZHU et al. (1994), gotas com diâmetro acima de 500  $\mu\text{m}$  são menos propensas à deriva e gotas abaixo de 50  $\mu\text{m}$ , em geral, evaporam antes de atingir o alvo. Portanto, o uso de gotas maiores nas aplicações de glyphosate podem diminuir a deriva.

Sob condições climáticas ideais para aplicação, a deposição de produtos devido à deriva gira em torno de 5 a 9% da dose aplicada com equipamentos terrestres (BODE, 1984). CUNHA (2008), estudando a distância horizontal percorrida por gotas de tamanho conhecido, submetidas a três diferentes alturas (0,3; 0,5 e 0,8 m) de lançamento e cinco velocidades do vento (1,0; 2,0; 3,0; 4,0 e 5,0  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) concluiu que a deriva pode chegar a 40 metros quando as gotas forem

menores que 100  $\mu\text{m}$ . Em casos especiais, como a pulverização aérea de herbicidas não seletivos, os cuidados devem ser maiores para prevenir a deriva (SCHRODER et al. 2000). Segundo os mesmos autores, em pulverizações aéreas com ventos de 2  $\text{m.s}^{-1}$ , a deriva de glyphosate pode atingir até 160 m e a de sulfosate pode atingir até 200 m do local considerado alvo.

Diversos estudos comprovam os efeitos negativos da aplicação de sub-doses de glyphosate em culturas agrícolas (MILLER et al. 2004; TUFFI SANTOS et al. 2005, 2007; YAMASHITA & GUIMARÃES, 2005; YAMASHITA et al. 2005, 2009; VIEIRA et al. 2006; MACHADO, 2009). Por se tratar de um produto de ação total, não seletivo, as aplicações devem ser feitas em jato dirigido, procurando-se atingir apenas as plantas daninhas, evitando contato do produto com a planta economicamente explorada. O eucalipto principalmente quando jovem, com um a três meses de idade, é bastante sensível ao glyphosate, por isto as aplicações devem ser feitas com cuidados especiais (FONSECA & CAMPOSILVAN, 1987).

TUFFI SANTOS et al. (2006), em ensaio de simulação de deriva de glyphosate, verificaram que doses de 172,8 e 345,6  $\text{g.ha}^{-1}$  de glyphosate sobre o terço inferior do eucalipto provocaram a morte dos ápices das plantas em *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. saligna* e *E. pellita* aos 15 dias após a aplicação (DAA). Segundo os mesmos autores, a intoxicação é caracterizada pela presença de folhas cloróticas, evoluindo em alguns casos para necroses e redução de crescimento da planta. Essa deriva pode acarretar em prejuízos no desenvolvimento do eucalipto ou mesmo a diminuição do estande, devido a morte de plantas jovens. Outros distúrbios e alterações morfológicas do eucalipto como superbrotamento, seca de gemas apicais e ponteiros têm sido atribuídos aos efeitos do glyphosate.

YAMASHITA & GUIMARÃES (2005) observaram leves sintomas de intoxicação nas folhas do algodoeiro quando tratados com 270  $\text{g.ha}^{-1}$  de glyphosate. MILLER et al. (2004) relataram a intoxicação somente em doses superiores a 140  $\text{g.ha}^{-1}$  em algodão não transgênico. Esse comportamento do algodoeiro em relação ao glyphosate difere de outras culturas, como milho e

sorgo, cujos danos são altos em doses a partir de 115,3 g.ha<sup>-1</sup> (MAGALHÃES et al. 2001).

Apesar dos danos causados pela deriva de glyphosate, alguns trabalhos indicam que as plantas que recebem o herbicida em doses sub-letais, possuem uma certa capacidade de recuperação ao longo do tempo. TUFFI SANTOS et al. (2008) escolheram no campo plantas de eucalipto com sintomas de intoxicação de glyphosate variando de 0 a 50% e verificaram que, após os 180 dias da aplicação, houve recuperação visual das plantas. GRAVENA et al. (2009) concluíram que plantas de citrus tratadas com glyphosate nas doses de 360 e 720 ge.a.ha<sup>-1</sup> se recuperaram em seis a doze meses após as aplicações.

A aplicação de glyphosate sobre as plantas em doses de 180 e 360 g e.a ha<sup>-1</sup> prejudica o desenvolvimento inicial de plantas de pinho-cuiabano (*Schizolobium amazonicum*) e sumaúma (*Ceiba pentandra*) (YAMASHITA et al. 2009). Esses sintomas foram mais evidentes a partir dos 7 dias da aplicação, havendo murcha e amarelecimento das folhas do ápice de *C. pentandra* na maior dose de glyphosate. Apesar dos danos visíveis provocados pela aplicação de glyphosate na menor dose estudada, os sintomas eram de baixa intensidade, com possibilidade de recuperação das plantas. Esse quadro sintomático manteve-se até a última avaliação (28 DAA), demonstrando tolerância das espécies estudadas a essa dose do herbicida.

Contrariando os autores supracitados, DUKE et al. (2006) discorrendo sobre os efeitos “hormesis” com glyphosate (substâncias que são tóxicas em altas doses, podem ser benéficas ou estimulatórias em baixas doses), citam que o glyphosate em baixas doses induz a efeitos estimulatórios em culturas como sorgo, soja, café, eucalipto, *Arabidopsis thaliana*, milho e pinus, e que estes efeitos são mais evidentes em espécies florestais como o eucalipto, em doses abaixo de 36 g e.a.ha<sup>-1</sup>. Pesquisas foram realizadas com subdoses de glyphosate no desenvolvimento inicial de plantas de trapoeraba (*Commelina benghalensis*) (MESCHEDE et al. 2007a), *Eucaliptus grandis* (CARBONARI et al. 2007b) e citrus (CARBONARI et al. 2007a). Estes autores concluíram que há efeito positivo no crescimento, aumento da biomassa, desenvolvimento da parte aérea e do sistema

radicular das plantas estudadas, bem como incrementos na absorção e acúmulo de fósforo nas folhas. Outros autores observaram os efeitos estimulatórios de glyphosate em milho e capim-arroz (SCHABENBERGER et al. 1999; WAGNER et al. 2003).

A ação dos herbicidas nas plantas ocorre através de duas fases: (i) a primeira envolve o movimento do herbicida ao local de ação e (ii) a segunda envolve as conseqüências metabólicas resultantes da interação com o local de ação (DEVINE et al. 1993). A primeira fase inicia-se com a aplicação do herbicida para controlar a planta, seja de forma direta sobre a folhagem ou via solo para atingir as raízes. O herbicida pode ser então absorvido pela planta, seguindo uma série de etapas, até atingir o local de ação. Essas etapas incluem a entrada nas células, difusão por curtas distâncias, transporte por longas distâncias, conversão metabólica do herbicida (causando ativação ou desativação) e entrada nas organelas celulares. A interação do herbicida com o local de ação pode ser considerada como a primeira etapa da segunda fase. A interação com o local de ação proporciona uma série de conseqüências tóxicas que resulta na morte da planta.

A absorção e translocação do glyphosate são influenciadas por diversos fatores, incluindo as características da planta, as condições ambientais, a concentração do herbicida, o surfactante utilizado e o método de aplicação. Os efeitos de tais fatores já foram intensivamente estudados e muitos dos resultados são encontrados nas revisões feitas por CASELEY & COUPLAND (1985) e FRANZ et al. (1997).

A absorção do glyphosate é um processo que envolve uma rápida penetração inicial através da cutícula, seguida por uma absorção lenta. A difusão é considerada o principal processo de transporte do glyphosate pela cutícula e, portanto, o gradiente de concentração entre a região de deposição e o interior da planta influencia a absorção (ERICKSON & DUKE, 1981). A cutícula é primariamente apolar, mas existem diferenças com relação ao grau de hidrofobicidade devido a composição química das ceras. As ceras ricas em compostos triterpenóides, como o ácido ursólico, são altamente hidrorrepelentes,

ao passo que as ricas em ésteres são mais hidroafins (CASTRO et al. 2005). Essas diferenças podem refletir na absorção do glyphosate, resultando em menor eficiência do produto quando a cutícula é mais hidrofóbica (CHACHALIS et al. 2001). Outros fatores como umidade superficial, idade da folha, estágio de crescimento, entre outros, vão influenciar diretamente a absorção e metabolização.

Na literatura existem trabalhos que demonstram a tolerância de plantas ao glyphosate, devido à penetração ou translocação diferencial deste herbicida na planta (SANDBERG et al. 1980; D'ANIERI et al. 1990; SATICHIVI et al. 2000; MONQUERO et al. 2004). As taxas de absorção foliar de herbicidas e, conseqüentemente, sua eficácia estão diretamente ligadas aos tipos de estruturas encontradas na folha e à permeabilidade da cutícula (BAKER, 1982), que por sua vez depende da constituição e da polaridade desta.

A densidade estomática também pode influenciar na absorção do glyphosate. Ela é variável de acordo com a idade da planta e diretamente influenciada pelas condições ambientais (CAO, 2000; JUSTO et al. 2005). Porém, a correlação entre a porcentagem de intoxicação causada pelo glyphosate e as características índice estomático, densidade estomática e densidade de cavidades, nas duas faces epidérmicas das folhas de eucalipto, foi baixa e não-significativa (TUFFI SANTOS et al. 2006). Isso pode ter ocorrido, pois os estômatos são estruturas muito mais eficientes para trocas gasosas (CASTRO, 2009)

Segundo SCHONHERR (2002), a presença de água é fundamental para uma boa penetração de glyphosate nas folhas, sendo evidente que grande parte do herbicida que penetra em seus tecidos passa por poros hidratados da cutícula.

O glyphosate altera diferentes processos bioquímicos vitais em plantas, como a biossíntese de aminoácidos aromáticos, proteínas e ácidos nucléicos (GLASS, 1984). O herbicida é absorvido pelo tecido vivo e translocado, via floema, através da planta para as raízes e rizomas. Vários trabalhos indicam que o glyphosate segue a mesma rota dos produtos da fotossíntese (açúcares), ocorrendo das folhas fotossinteticamente ativas em direção às partes das plantas

que utilizam estes açúcares, estabelecendo-se uma relação de fonte e dreno (CASELEY & COUPLAND, 1985). Sua atuação nos vegetais inibe a ação da enzima enolpiruvil shikimato-3-fosfato sintase (EPSP), impedindo a síntese de aminoácidos aromáticos que são precursores de outras substâncias, como alcalóides, flavonóides e lignina (AMARANTE JÚNIOR & SANTOS, 2002). As plantas tratadas com glyphosate morrem lentamente, em poucos dias ou semanas, e devido ao seu transporte por todo o sistema, nenhuma parte da planta sobrevive.

Trabalhando com absorção e translocação de glyphosate em dois clones de eucalipto, MACHADO (2009) observou que duas horas após a aplicação, 51,7 e 57,4% de todo o herbicida presente nas plantas foram detectados no sistema radicular dos clones 2277 e 531, respectivamente. A velocidade de translocação do glyphosate para as raízes está associada ao transporte de açúcares no floema, que é rápido e, em geral, pode variar de 0,3 a 1,5 m.h<sup>-1</sup> (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Diversos trabalhos na literatura mostram que o glyphosate é pouco metabolizado nas plantas (COUPLAND, 1985). No entanto, resultados obtidos por MONQUERO et al. (2004) mostram até 40% de metabolismo do herbicida para ácido aminometilfosfônico (AMPA) em plantas de *Commelina benghalensis*, indicando este como um provável mecanismo de tolerância desta planta daninha.

Nas plantas existem enzimas que apresentam a capacidade de metabolizar diversos xenobióticos, dentre eles, herbicidas, proporcionando desintoxicação. Uma das enzimas mais importantes, com esta característica, é a glutathione S-transferase (GSTs, EC 2.5.1.18), que catalisa a conjugação de glutathione (GSH) a uma variedade de substratos, geralmente citotóxicos, produzindo conjugados menos tóxicos (COLE, 1994). Vários autores constataram aumento da atividade desta enzima em plantas submetidas à aplicação de glyphosate, indicando que esta pode participar no processo de detoxificação do herbicida pelas plantas, podendo ter alguma influência na tolerância (UOTILA et al. 1995; CATANEO et al. 2003).

Na literatura podem ser encontrados muitos efeitos secundários causados pelo glyphosate e estes variam em função de vários fatores, tais como a espécie, dose e estágio de desenvolvimento da planta (ROSS & O'NEIL, 2001; MOORE & EVANS, 1986; Gravena, 2006).

Em doses sub-letais de glyphosate, os efeitos na concentração de compostos fenólicos em tecidos exportadores de carboidratos podem ser transitórios. Entretanto, os efeitos podem manter-se pronunciados em órgãos drenos como frutos e flores (BECERRIL et al. 1989). Isto ocorre em função do glyphosate ser muito móvel no floema, acumulando-se nos órgãos dreno (CASELEY & COUPLAND, 1985). Em função destas constatações, pode-se considerar que os efeitos nos compostos secundários podem ocorrer somente na presença do herbicida.

Trabalhos demonstraram que doses não-letais do glyphosate inibem a produção de fitoalexinas derivadas da rota chiquímica de algumas plantas, aumentando a susceptibilidade a patógenos. As fitoalexinas são compostos antimicrobianos sintetizados pela planta que se acumulam nas células vegetais em resposta à infecção microbiana, limitando a propagação do patógeno (PASCHOLATI & LEITE, 1995). Porém, na literatura são encontrados trabalhos divergentes, demonstrando efeitos positivos ou negativos da propagação e infecção de patógenos em plantas tratadas com glyphosate (ALTMAN & CAMPBELL, 1977; FENG et al. 2005; SOARES et al. 2008).

Outro efeito atribuído ao glyphosate na supressão da defesa das plantas contra patógenos é pela redução na lignificação dos tecidos durante a infecção (LIU et al. 1997). A inibição da rota chiquímica também pode alterar toda a síntese de compostos secundários, que irão direta ou indiretamente alterar alguns componentes da madeira. A madeira é um material heterogêneo, possuindo diferentes tipos de células, adaptadas no desempenho de funções específicas. Há grandes variações na composição química, física e na anatomia da madeira, entre espécies e também dentro da mesma espécie (TRUGILHO et al. 1996).

A densidade básica da madeira é a principal característica que influencia tanto no custo da madeira produzida, quanto no rendimento do processo industrial



e na qualidade de polpas e papéis (FOELKEL et al. 1992, DEMUNER et al. 1992). Sua influência no rendimento e no custo dos processos de produção de madeira e de polpa é facilmente entendida em razão do manuseio de menor volume de toras e cavacos, respectivamente, para uma mesma quantidade de massa (SHIMOYAMA, 1990; FOELKEL et al. 1992; WEHR & BARRICHELO, 1992).

Para determinação da qualidade da madeira visando a produção de polpa celulósica e papel, os parâmetros químicos como teores de holocelulose, lignina e extrativos têm sido considerados os mais relevantes, e normalmente são relacionados com os aspectos quantitativos de rendimento e consumo de produtos químicos durante o processo de deslignificação.

Ligninas são substâncias complexas, macromoléculas tridimensionais de origem fenilpropanóica, constituídas de unidades básicas de p-hidroxifenilpropano, guaiacilpropano e siringilpropano, encontradas na maioria das plantas superiores em maior concentração na lamela média do que nas subcamadas da parede secundária dos traqueídeos, vasos, fibras, etc. Estas substâncias químicas conferem rigidez à parede da célula e, nas partes da madeira, agem como um agente permanente de ligação entre as células, gerando uma estrutura resistente ao impacto, compressão e dobra. Sua estrutura principal provém dos precursores primários, álcool trans-coniferílico, álcool trans-sinapílico e álcool trans-para-cumário (SACON & WEISSHEIMER, 1996). Entretanto, sabe-se que, quanto menor o teor de lignina melhor a deslignificação e menor o consumo de produtos químicos durante o processo de polpação e o branqueamento. SANTOS (2000) e ALENCAR (2002) descrevem que madeiras com maior teor de lignina podem exigir maior quantidade de álcali para atingir níveis desejáveis de deslignificação no processo de polpação kraft. Os extrativos também são compostos indesejáveis no processo de polpação, uma vez que os mesmos podem consumir reagentes químicos e provocar incrustações, "pitch", em tubulações e causar problemas de adsorção de lignina e de cargas durante o processo de fabricação do papel (SMOOK, 1997). Eles podem ser classificados como materiais de reserva (ácidos graxos, açúcares, gorduras e óleos), materiais de proteção (terpenos, ácidos resinosos, fenóis e ceras) e hormônios vegetais (fitosterol e sistosterol).

O termo holocelulose é usado para designar o produto obtido após a remoção da lignina da madeira. ALMEIDA et al. (2001) destaca que o teor de holocelulose está relacionado com o rendimento do processo de polpação, e as hemiceluloses facilitam no refino da polpa celulósica, desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento das propriedades de resistência físico-mecânica da polpa.

A compreensão do crescimento, produtividade e das características químicas da madeira de eucalipto em função da aplicação de glyphosate, é fundamental nas otimizações dos processos não só silviculturais, mas também nos processos de polpação e branqueamento, redução do impacto no custo e ambiental causado pelas indústrias de celulose e papel.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em duas etapas. A primeira etapa foi feita com o intuito de se determinar, em condições semi-controladas, as doses críticas do herbicida glyphosate para o eucalipto.

Essa etapa foi composta por quatro ensaios, conduzidos em área anexa ao Laboratório de Biologia e Manejo de Plantas Daninhas, da FCAV/UNESP, campus de Jaboticabal, SP. Nesses ensaios, foram utilizadas duas formas de aplicação de glyphosate (Roundup Original, 360 g e.a.L<sup>-1</sup>) em mudas recém estabelecidas de eucalipto.

Na primeira, foram aplicadas gotas de solução aquosa do herbicida no caule do eucalipto (ensaios 1 e 2) e na segunda, foi pulverizado a calda contendo o herbicida sobre a parte aérea das plantas (ensaios 3 e 4).

Em todos os ensaios, mudas pré-selecionadas de um clone de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* foram transplantadas em vasos plásticos com capacidade de 5,0 L, preenchidos com Neossolo Quartzarênico. Esse solo foi coletado na camada arável de uma fazenda de eucalipto da empresa Fibria S.A, em São Simão, SP. Para a nutrição e crescimento das mudas, além da irrigação diária, a cada dois dias foi adicionado aos vasos 0,5 L de solução nutritiva completa, composta por 10 g de fosfato monoamônico (MAP); 60 g de nitrato de cálcio; 42,5 g de nitrato de potássio; 30 g de sulfato de magnésio; 0,6 g de ácido bórico; 0,48 g de cloreto de manganês; 0,06 g de sulfato de zinco; 0,025 g de sulfato de cobre e 11 g de ferrilene, todos diluídos em 100 L de água, cuja fórmula foi fornecida pela empresa Fibria S.A.

Nos ensaios 1 e 2, foram aplicados volumes crescentes de solução do herbicida glyphosate no caule do eucalipto. No primeiro ensaio, uma solução de herbicida glyphosate (360 g e.a.L<sup>-1</sup>) na concentração de 3% (v/v) foi aplicada nos volumes: 0, 1, 5, 10, 20, 40, 80 e 160  $\mu\text{L}$  solução.planta<sup>-1</sup>, que representam 0;  $1,08 \cdot 10^{-5}$ ;  $5,40 \cdot 10^{-5}$ ;  $1,08 \cdot 10^{-4}$ ;  $2,16 \cdot 10^{-4}$ ;  $4,32 \cdot 10^{-4}$ ;  $8,64 \cdot 10^{-4}$  e  $1,73 \cdot 10^{-3}$  g e.a.planta<sup>-1</sup>. No segundo ensaio, as aplicações da solução 2% (v/v) do mesmo herbicida, foram feitas nos volumes: 0, 1, 5, 15, 30, 60, 90, 120 e 150  $\mu\text{L}$

solução.planta<sup>-1</sup>, que representam 0; 7,2.10<sup>-6</sup>; 3,6.10<sup>-5</sup>; 1,08.10<sup>-4</sup>; 2,16.10<sup>-4</sup>; 4,32.10<sup>-4</sup>; 6,48.10<sup>-4</sup>; 8,64.10<sup>-4</sup>; 1,08.10<sup>-3</sup> g e.a.planta<sup>-1</sup>. Nos dois ensaios o glyphosate foi depositado no caule principal das plantas de eucalipto, a cerca de 0,10 m acima da superfície do solo. Essa aplicação foi feita com o uso de micropipetas automáticas, que proporcionaram gotas de no máximo 1 µL, tomando-se cuidado para não haver a coalescência entre as gotas e conseqüente escorrimento da solução pelo caule.

Nos ensaios 3 e 4, foram feitas aplicações de sub-doses de glyphosate sobre as plantas de eucalipto. Para tanto, foi utilizado um pulverizador costal à pressão constante (CO<sub>2</sub>), munido de barra com quatro pontas XR 110 02, espaçadas de 0,5 m, regulado com 2,0 bar de pressão para um gasto de 200 L.ha<sup>-1</sup> de volume de calda. Na ocasião das aplicações, a barra de pulverização estava a 0,5 m do alvo. No ensaio 3 as doses de glyphosate foram: 0, 7,2x10<sup>-7</sup>, 7,2x10<sup>-6</sup>, 7,2x10<sup>-5</sup>, 7,2x10<sup>-4</sup>, 7,2x10<sup>-3</sup>, 7,2x10<sup>-2</sup>, 7,2x10<sup>-1</sup>, 7,2, 72, 360 e 720 g e.a de glyphosate.ha<sup>-1</sup> e, no ensaio 4, as doses foram: 0, 9, 18, 36, 72, 144, 288, 432, 576, 720, 1080, 1440 e 2160 g e.a de glyphosate.ha<sup>-1</sup>. No momento das aplicações, as temperaturas do ar eram de 26,0 e 21,3°C e as umidades relativas do ar de 49 e 63%, respectivamente, nos ensaios 3 e 4.

No momento das aplicações, foram coletadas três plantas representativas do conjunto, nas quais foram determinadas a altura, a área foliar (LiCor, mod. LI 300A) e a matéria seca do caule e folhas (após secagem em estufa com circulação forçada de ar a 70°C por 96 horas), cujos resultados encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Altura, área foliar, matéria seca de caule e folhas do eucalipto no momento das aplicações de glyphosate.

Ensaio	Data Aplicação	Altura (m)	Área Foliar (dm <sup>2</sup> )	Matéria Seca (g)	
				Caule	Folhas
01	28/08/2002	0,52	7,93	9,60	13,45
02	04/02/2003	0,63	18,16	7,92	12,12
03	17/06/2002	0,40	2,20	1,22	2,07
04	24/07/2002	0,69	12,85	5,30	7,80

Nos quatro ensaios foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com os tratamentos em três repetições. Cada vaso contendo uma planta foi considerado como parcela experimental.

Nas plantas foram avaliadas a altura, área foliar (LiCor, mod. LI 300A), matéria seca de caule e folhas, aos 23 dias após a aplicação (DAA) no ensaio 1, aos 30 DAA nos ensaios 2 e 3 e aos 21 DAA no ensaio 4. A matéria seca foi obtida após a secagem dos materiais em estufa com circulação forçada de ar a 70°C até obter massa constante. Os resultados obtidos nos quatro ensaios foram submetidos a análises de regressão, utilizando o programa MicroCal Origin v. 6.0.

Nos ensaios 1 e 2 também foi calculada a matéria foliar específica - MFE (razão entre matéria seca das folhas e área foliar, que estima a espessura foliar).

Pelos resultados de “doses x efeito”, obtidos nos ensaios da primeira etapa, foi determinada a concentração crítica de glyphosate para o eucalipto. Baseando-se nesses resultados, foi montada a segunda etapa que foi conduzida em condições de campo em um talhão da fazenda Guatapará A, pertencente a Fibria S.A, localizada no município de Luiz Antônio, SP.

No ensaio foi plantado o mesmo clone utilizado nos ensaios da primeira etapa, um híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* que tem como característica genética principal um elevado crescimento inicial e elevada resposta à adubação. O plantio da cultura foi realizado em um único dia, 02 de abril de 2004, utilizando-se o espaçamento de 3,0 metros entrelinhas por 2,0 metros entre plantas. Por ocasião do plantio no campo, as mudas foram pré-selecionadas quanto a altura (0,25 m) e idade (cerca de 90 dias), evitando-se plantas bifurcadas e doentes.

O preparo da área para o plantio foi feito por meio de subsoladores que fizeram sulcos de 30 cm de profundidade em cada linha.

A adubação de plantio consistiu da aplicação de 300 kg.ha<sup>-1</sup> de fosfato natural reativo em filete contínuo, colocados na profundidade de 0,35 m dentro do sulco de plantio. Aos cinco dias após o plantio (DAP), foi aplicado 90 g.planta<sup>-1</sup> da fórmula de adubo comercial (N-P-K) 04-28-06 + 0,3% Cu e 0,7% Zn, divididos em duas covas laterais por muda. Aos 90 DAP foi feita a aplicação de 115 g.planta<sup>-1</sup> da fórmula comercial 10-00-20 + 0,3% B e 2,4% Mg na projeção da coroa e

também a aplicação de  $1,2 \text{ t.ha}^{-1}$  de calcário dolomítico em área total. Aos 12 e 18 meses foi feita a aplicação de  $100 \text{ kg.ha}^{-1}$  de KCl + 1,5% de B. A partir dos 18 meses não foram realizadas mais adubações.

O experimento foi disposto num delineamento em faixas de épocas de aplicação após o plantio (1, 3, 5, 7 e 9 meses após o plantio) e doses (0, 36, 72, 144, 288,  $432 \text{ g e.a.ha}^{-1}$ ) de glyphosate (Roundup Original,  $360 \text{ g.L}^{-1}$ ). Como não haviam repetições, foram feitas três amostragens em cada faixa de épocas e doses. Em cada amostragem foram coletados dados de 3 a 5 árvores, totalizando de 9 a 15 árvores por faixa. Entre cada faixa foi deixada uma linha de eucalipto como bordadura sem aplicação de glyphosate.

Para fins de análise foi considerado o modelo com efeito de época e dose, sendo as amostras retiradas dentro de cada época e dose.

As faixas aplicadas tiveram como dimensões duas linhas de eucalipto por noventa metros de comprimento, totalizando 90 plantas de eucalipto. Para fins de avaliações, foram consideradas as 74 plantas centrais das duas linhas.

Cabe destacar que em razão das épocas (estágio ou idade das plantas), as aplicações tiveram que ser diferenciadas. Até os 5 meses após o plantio, as aplicações do glyphosate foram realizadas sobre as plantas de eucalipto. Para tanto foi utilizado um pulverizador costal à pressão constante ( $\text{CO}_2$ ), munido de barra com quatro pontas XR 110 02 espaçadas de 0,5 m, regulado com 2,0 bar de pressão para um gasto de  $200 \text{ L.ha}^{-1}$  de volume de calda. Após os 5 meses de idade, por causa da altura do eucalipto, foi necessário reduzir o volume de calda pela metade ( $100 \text{ L.ha}^{-1}$ ), e fazer a aplicação com a barra disposta lateralmente, dos dois lados das plantas, a fim de se manter doses aproximadas de  $\text{glyphosate.ha}^{-1}$ . Para isso, foi utilizado mesmo pulverizador costal, porém com pontas XR 110.01. Tanto nas aplicações sobre as plantas como nas aplicações laterais a barra estava a 0,5 m de distância do alvo.

No dia de cada aplicação do glyphosate foi determinada a altura, a matéria seca de caule e ramos e folhas de cinco plantas de eucalipto. Para a determinação da matéria seca, adotou-se o mesmo procedimento descrito na primeira etapa.

As datas das aplicações, os principais elementos climáticos, a altura, a matéria seca de caule e ramos e das folhas do eucalipto no momento das aplicações, e a chuva durante a condução do ensaio encontram-se detalhadas nas Tabelas 2 a 4.

Tabela 2. Data de aplicação, temperatura e umidade relativa do ar, e condição do vento no momento das aplicações do glyphosate nas diferentes épocas.

Época	Data aplicação	AR		Vento*
		Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)	
1	27/04/04	29,6	48	rajadas leves
2	02/07/04	27,8	45	rajadas
3	01/09/04	31,0	33	rajadas
4	08/11/04	31,5	45	rajadas
5	13/01/05	28,2	43	rajadas leves

\* Conforme descrito por ATB (1991)

Tabela 3. Altura, matéria seca de caule e ramos e folhas do eucalipto no momento das aplicações do glyphosate nas diferentes épocas.

Época	Altura (m)	Matéria Seca (g)	
		Caule e Ramos	Folhas
1	0,36	1,3	2,7
2	0,87	40,0	64
3	1,57	222,8	217
4	3,07	961,1	612
5	5,38	3346,2	1340

Todos os tratamentos culturais (adubações, controle de pragas, doenças, desbrotas, etc.) foram realizados de acordo com os padrões da Fibria.

A área foi mantida no limpo por meio de capinas manuais (enxada) até o segundo ano após o plantio. Todo material capinado foi deixado nas parcelas. Após o segundo ano, o eucalipto foi mantido sem nenhum controle da comunidade infestante.

Nas três primeiras épocas de aplicação foram realizadas avaliações de altura, matéria seca de caule+ramos e folhas aos 60 e 120 DAA. Na quarta época de aplicação as mesmas avaliações foram realizadas apenas aos 60 DAA, devido

à dificuldade de transporte, armazenamento e secagem das árvores de eucalipto, que se encontravam com mais de 5 metros de altura e elevada massa verde.

Tabela 4. Dados de chuva (mm) coletados na estação pluviométrica da Fazenda Santa Clara (Usina Moreno), localizada no município de Luis Antônio, SP.

ANO	MESES											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>2004</b>	366	413	52	125	208	19	47	0	4	159	251	169
<b>2005</b>	474	39	141	49	121	17	42	0	67	90	202	265
<b>2006</b>	203	440	244	10	0	10	5	32	61	252	172	276
<b>2007</b>	543	269	124	65	98	6	111	0	0	58	214	142
<b>2008</b>	290	247	181	90	48	55	32	155	185	79	252	324
<b>2009</b>	256	310	146	197	75	8	0	12	20	110	123	253
<b>Média</b>	355,3	286,3	148,0	89,3	91,7	19,2	39,5	33,2	56,2	124,7	202,3	238,2

Aos 10, 13, 26, 48 e 62 meses após o plantio foram feitas avaliações de altura e diâmetro à altura do peito. Com essas variáveis calculou-se o volume cilíndrico com casca de madeira, através da fórmula:

$$V \text{ (m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}) = \{[0,00078 \times (\text{DAP})^2] \times H\} \times \text{POP}$$

onde:

DAP = diâmetro à altura do peito expresso em centímetros.

H = altura em metros.

POP = população de plantas por hectare

Ao final do ensaio (68 meses) foram feitas análises químicas (Extrativos (%), Lignina Total (%) e Holocelulose (%)) e densidade básica da madeira ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) nos tratamentos de doses de glyphosate aplicadas aos 5 meses após o plantio (Época 3). Também foi avaliado o rendimento ao cozimento para todas as épocas e doses de glyphosate. Para tanto, em três árvores de cada tratamento, foram retirados discos de aproximadamente 2,5 cm de largura a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial para determinação da densidade básica da madeira ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ),



usando o método da balança hidrostática (VITAL, 1984). Foram retirados, também, toretes de 1 metro de comprimento nas mesmas posições adotadas para amostragem dos discos para determinações tecnológicas da madeira. Dos toretes foram obtidos cavacos, que foram acondicionados em sacos plásticos transparentes, devidamente identificados e usados após secos (10% de umidade). Os cavacos foram selecionados por tamanho, usando-se apenas os cavacos retidos nas peneiras de 22, 16 e 10 mm. Posteriormente, foi realizada a classificação por espessura, aproveitando-se os cavacos retidos nas peneiras de 6, 4 e 2 mm, eliminando-se, também, os nós, cascas e cavacos muito finos. Após esta etapa, os cavacos foram homogeneizados e novamente acondicionados em sacos plásticos até o seu uso. Parte dos cavacos foi destinada para a determinação da composição química e outra parte para o cozimento, ambas realizadas no Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento da Fibria, unidade de Jacareí/SP. As análises químicas da madeira foram determinadas na serragem, obtida em moinho, após a classificação em um conjunto de peneira de 40 e 60 mesh a partir dos cavacos de madeira. Nos materiais, foram quantificados os teores de extrativos totais (norma TAPPI 204 om – 88), e lignina total (solúvel e insolúvel) (norma TAPPI T 222 om-88), sendo o teor de holocelulose obtido por diferença, conforme metodologias apresentadas em TAPPI (1999).

A estimativa de rendimento ao cozimento foi feita pelo método direto de espectrometria no infravermelho próximo (NIR).

Os resultados de volume de madeira foram submetidos a análise de regressão sigmoidal (modelo de Boltzmann), utilizando o programa MicroCal Origin v. 6.0.

Nos resultados de extrativos, lignina total, holocelulose, densidade básica da madeira e estimativa do rendimento ao cozimento, as comparações entre as médias foram feitas através do erro padrão da média.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Ensaios em condições semi-controladas

No momento da aplicação da solução de glyphosate a 3% (v/v) no caule - ensaio 1 - constatou-se que as mudas de eucalipto estavam com 0,52 m de altura e que durante o período experimental (23 dias após a aplicação - DAA) houve acréscimo de 33,8% na altura das plantas na testemunha. Foram necessários 31,5  $\mu\text{L}$  de glyphosate a 3% (v/v) aplicados no caule para causar inibição de 50% na altura das plantas (Figura 1A). Esta inibição foi principalmente devido ao encurvamento do ápice das plantas ou pelo secamento e morte da extremidade do caule, mesmo com a aplicação sendo feita apenas via caule (Figuras 2A e 2B). Esses dados corroboram com os de TUFFI SANTOS et al. (2006), que em ensaio de simulação de deriva de glyphosate verificaram que aplicações sobre o terço inferior do eucalipto provocaram a morte dos ápices das plantas de *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. saligna* e *E. pellita* aos 15 DAA.

Verificou-se que a aplicação do herbicida a 3% v/v em baixos volumes já foi suficiente para redução exponencial da área foliar do eucalipto (Figura 1 B). Esta redução foi mais acentuada à medida em que se aumentaram as doses de glyphosate, mas sem se constatar diferença entre os efeitos das doses de 80 e 160  $\mu\text{L}$ , com as quais as plantas praticamente mantiveram a mesma área foliar determinada no dia da aplicação. No dia da aplicação, as mudas estavam com 7,9  $\text{dm}^2$  de área foliar e durante os 23 DAA houve acréscimo de 367,9% nesta variável na testemunha.

Para a matéria seca (MS) de caule e folhas, os ganhos percentuais no decorrer do ensaio foram de 97,0 e 110,7%, respectivamente. A MS de caule (Figura 1C) também foi reduzida exponencialmente. Foram necessários 31,7  $\mu\text{L}$  de glyphosate para inibir em 50% o acúmulo de MS de caule e 67,2  $\mu\text{L}$  de glyphosate a 3% (v/v) para MS das folhas (Figura 1D) quando comparados a testemunha sem aplicação de glyphosate.

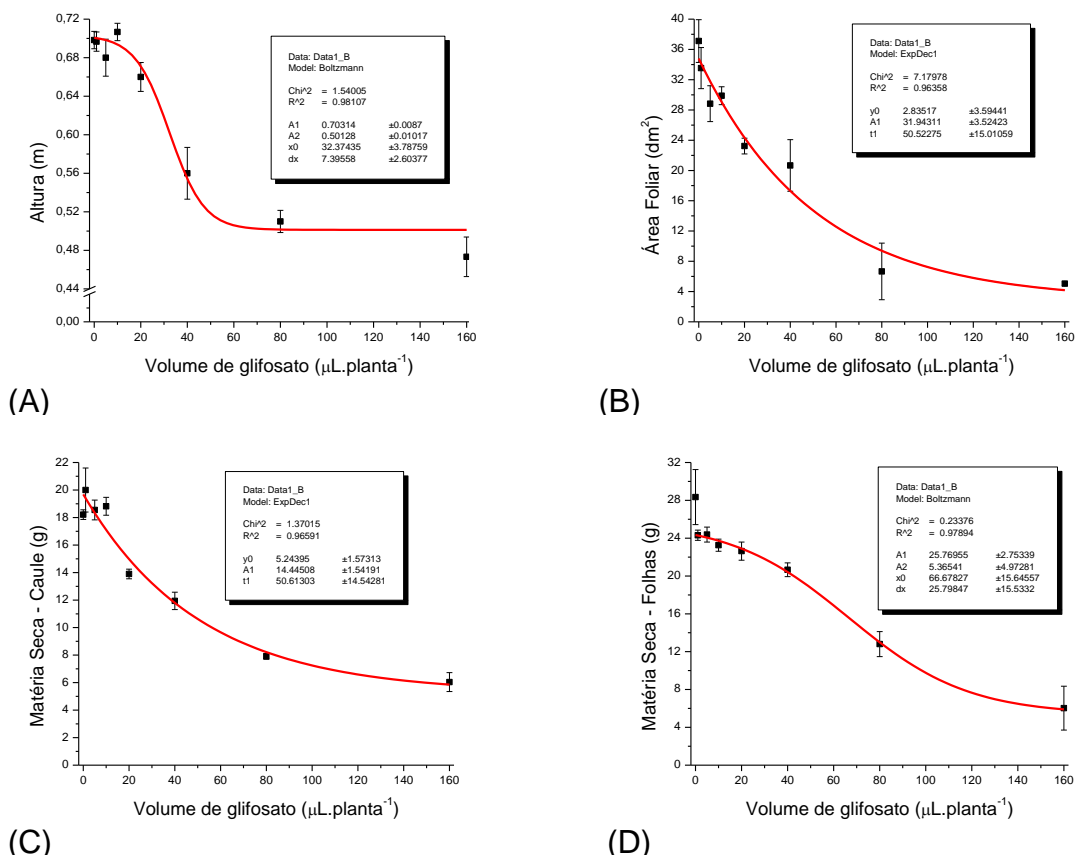


Figura 1. Altura (A), área foliar (B) e matéria seca de caule (C) e folhas (D) de eucalipto submetido a aplicações de volumes de glyphosate a 3% v/v no caule, aos 23 DAA no ensaio 1.

Tabela 5. Parâmetros das análises de regressão dos modelos sigmoidal de Boltzmann e Exponencial da Figura 1.

Variáveis	Parâmetros do modelo sigmoidal de Boltzmann				
	$\text{R}^2$	A1	A2	Xo	dX
Altura (m)	0,98	0,70	0,50	32,37	7,39
MS Folhas (g)	0,98	25,8	5,36	66,67	25,79
Variáveis	Parâmetros do modelo Exponencial				
	$\text{R}^2$	A1	Y <sub>0</sub>	t1	
Área Foliar ( $\text{dm}^2$ )	0,96	31,94	2,83	50,52	
MS Caule (g)	0,96	14,44	5,24	50,61	



Figura 2. (A) Morte da extremidade do caule em função da aplicação de 40  $\mu\text{L}$  de solução de glyphosate (3% v/v) no caule do eucalipto (planta da direita). (B) Detalhe do sintoma de estrangulamento do caule após a aplicação do herbicida.

Segundo RODRIGUES & ALMEIDA (2005), as doses recomendadas de glyphosate para o controle de plantas daninhas na cultura de eucalipto variam de 360 a 1.800 g e.a.ha<sup>-1</sup>. Supondo que 1,0% da menor dose recomendada de glyphosate seja proveniente de deriva, e que a mesma (3,6 g e.a.ha<sup>-1</sup>) atinja proporcionalmente o caule de cada planta, de uma população de 1.333,3 plantas de eucalipto.ha<sup>-1</sup>, cada uma receberia o equivalente a 2,7.10<sup>-3</sup> g e.a. Comparando esta simulação com os resultados obtidos neste ensaio, foram necessários 4,4.10<sup>3</sup> g e.a.planta<sup>-1</sup> (ou 40,78  $\mu\text{L}$ .planta<sup>-1</sup>) para a redução de 50% do crescimento das plantas, considerando a média das quatro variáveis analisadas (altura, área foliar, matéria seca de caule e folhas). O glyphosate penetra na planta através da cutícula e membrana plasmática dos tecidos fotossintetizantes, e é necessário que ocorra a translocação simplástica, através de tecidos vasculares, para os sítios-alvo do herbicida (SATICHIVI et al. 2000).

As plantas de eucalipto foram caracterizadas no momento da aplicação do ensaio 2. Nesta ocasião, a altura do eucalipto era de 0,63 m, a área foliar 18,61 dm<sup>2</sup>, a MS de caule e folhas 7,72 g e 12,12 g, respectivamente. Do início até o final do experimento (30 dias após a aplicação), houve acréscimo de 45,3% na altura do eucalipto. A aplicação de 25,0  $\mu\text{L}$  da solução de glyphosate a 2% (v/v) no

caule proporcionou decréscimo de 50% na altura das plantas (Figura 3A), e foi necessária dose três vezes maior (75,4  $\mu\text{L}$  de glyphosate) para reduzir a área foliar nos mesmos patamares. Ao final do experimento, cada 1,0  $\mu\text{L}$  da solução a 2% (v/v) aplicada no caule do eucalipto proporcionou redução de 0,3  $\text{dm}^2$  de área foliar (Figura 3B).

Neste ensaio também houve um comportamento diferencial para as características avaliadas. Para a altura e matéria seca de folhas (Figuras 3A e 3D), a redução seguiu um modelo sigmoidal de Boltzmann, enquanto para área foliar e matéria seca de caule (Figuras 3B e 3C) a redução foi linear. Esses resultados indicam maior sensibilidade inicial da área foliar e matéria seca do caule às menores doses de glyphosate testadas, quando comparados a altura e matéria seca de folhas, ou seja, a aplicação de baixas doses do herbicida aplicadas no caule é suficiente para inibição exponencial (ensaio 1) ou linear (ensaio 2) na área foliar e matéria seca do caule.

Durante o período experimental, houve acréscimo de 383,8 e 224,1% na matéria seca do caule e folhas, respectivamente. Foram necessários 76,1  $\mu\text{L}$  de glyphosate para a redução de 50% na matéria seca do caule e 29,1  $\mu\text{L}$  para a redução da matéria seca das folhas.

O comportamento diferencial entre matéria seca de folhas e área foliar se deve, provavelmente, a modificação de folhas normais para folhas coriáceas em função da aplicação de glyphosate nas plantas, provocando essa relação desproporcional entre área foliar e matéria seca de folhas. Esse efeito foi observado visualmente nas plantas de ambos os ensaios. Mesmos efeitos foram relatados por TUFFI SANTOS et al. (2005).

Pelos resultados de matéria seca de folhas e área foliar dos ensaios 1 e 2 foi calculada a massa foliar específica - MFE (razão entre matéria foliar seca de folhas e área foliar, que estima espessura foliar). Foi observado que nas plantas testemunha, a MFE variou de 0,63 a 0,70  $\text{g}\cdot\text{dm}^{-2}$ . Em volumes superiores a 15  $\mu\text{L}$  de solução de glyphosate a 2 ou 3% (v/v), a MFE ficou acima de 0,80  $\text{g}\cdot\text{dm}^{-2}$ , atingindo 2,90  $\text{g}\cdot\text{dm}^{-2}$  nas maiores doses do ensaio 2 (Figuras 1B e 1D; 3B e 3D).

Foram necessários, em média,  $3,7 \cdot 10^{-4}$  g e.a de glyphosate ou 51,41  $\mu\text{L}$  de solução de glyphosate a 2% (v/v) por planta para redução média de 50% nas características: altura, área foliar, matéria seca de caule e folhas.

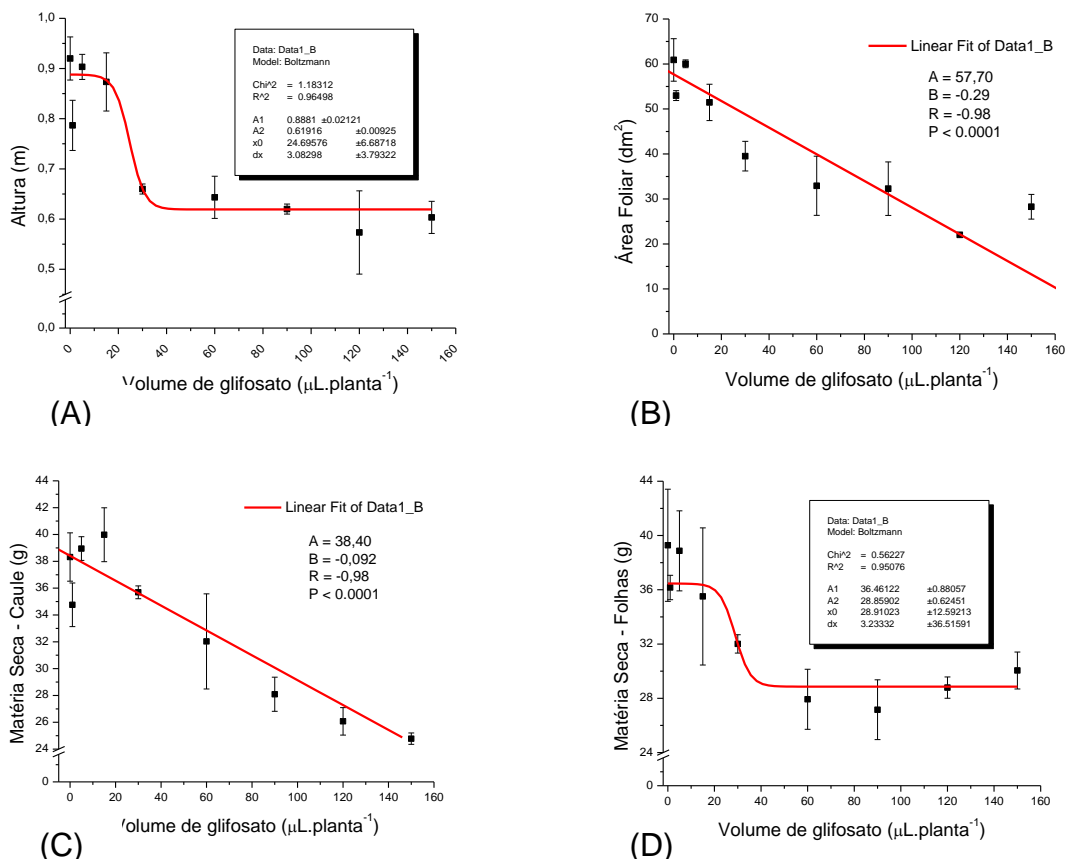


Figura 3. Altura (A), área foliar (B) e matéria seca de caule (C) e folhas (D) de eucalipto submetido a aplicações de volumes de glyphosate a 2% v/v no caule, aos 30 DAA no ensaio 2.

Tabela 6. Parâmetros das análises de regressão dos modelos sigmoidal de Boltzmann e Linear da Figura 3.

Variáveis	Parâmetros do modelo sigmoidal de Boltzmann				
	$R^2$	A1	A2	Xo	dX
Altura (m)	0,96	0,88	0,62	24,69	3,08
MS Folhas (g)	0,95	36,46	28,86	28,21	8,23
Variáveis	Parâmetros do modelo linear				
	A	B	R	P	N
MS Caule (g)	38,41	- 0,09	- 0,98	< 0,0001	9
Área Foliar ( $\text{dm}^2$ )	57,70	- 0,29	- 0,98	< 0,0001	9

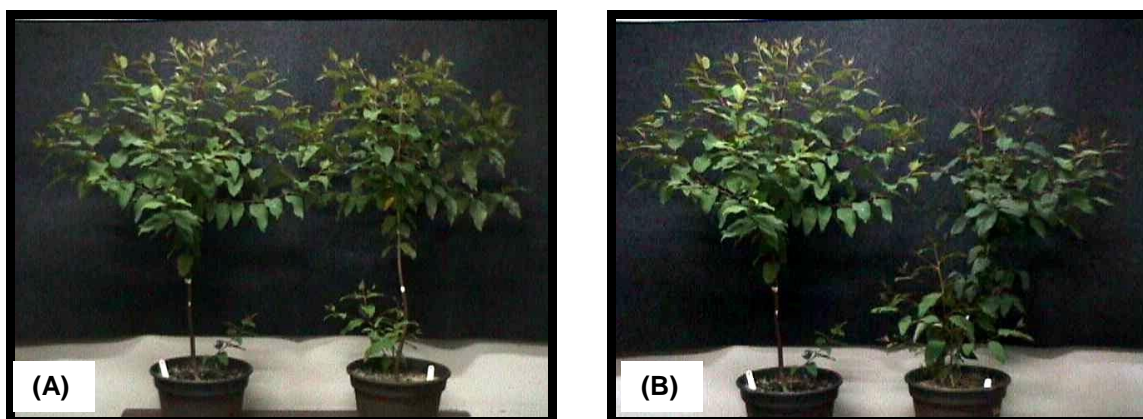


Figura 4. Sintomas do eucalipto (plantas da direita) quando tratados com 15 (A) e 30 (B) uL de solução de glyphosate (2% v/v) no caule.

Durante a condução dos ensaios, houve elevado ganho percentual em altura, área foliar e matéria seca de caule e folhas no eucalipto, indicando alta atividade metabólica das plantas, mesmo quando desenvolvidas em vasos plásticos. Essa intensa atividade metabólica favorece a translocação do produto na planta, pois o herbicida é absorvido pelo tecido vivo e translocado, via floema, em direção às partes das plantas que utilizam os metabólitos translocados via floema, estabelecendo-se uma relação de fonte e dreno (CASELEY & COUPLAND, 1985). O glyphosate nos vegetais inibe a ação da enolpiruvil shikimato-3-fosfato sintase (EPSP), impedindo a síntese de aminoácidos aromáticos que são precursores de outras substâncias, como alcalóides, flavonóides e lignina (AMARANTE JÚNIOR & SANTOS, 2002). As plantas tratadas com glyphosate morrem lentamente, em poucos dias ou semanas, e devido ao seu transporte por todo o sistema, nenhuma parte da planta sobrevive.

Na Figura 5 estão apresentados os resultados das aplicações de doses crescentes de glyphosate sobre as plantas de eucalipto (ensaio 3). Constatou-se que a altura média das plantas de eucalipto no momento da aplicação era de 0,40 m e que após 30 DAA houve acréscimo de 45,7% (Figura 5A). A dose de 220,5 g e.a.ha<sup>-1</sup> de glyphosate sobre o eucalipto proporcionou redução de 50% na altura das plantas, mas a redução iniciou-se em doses a partir de 87,03 g e.a.ha<sup>-1</sup>.

Comportamento semelhante foi verificado para área foliar e matéria seca de folhas (Figuras 5B e 5D), cuja redução dos valores também se iniciou por volta dos 90,0 g e.a.ha<sup>-1</sup>. Para a matéria seca do caule, a inibição foi verificada em doses menores, a partir de 30 g e.a.ha<sup>-1</sup>. TUFFI SANTOS et al. (2005) relataram sintomas foliares em plantas de *Eucalyptus urograndis* pulverizadas com 172,8 e 345,6 g e.a.ha<sup>-1</sup> de glyphosate, enquanto VELINI et al. (2008) observaram que a aplicação de doses abaixo de 36 g e.a.ha<sup>-1</sup> de glyphosate provocou estímulos no crescimento de várias espécies vegetais, incluindo o eucalipto.

Ainda em relação ao ensaio 3, a dose de 720 g e.a.ha<sup>-1</sup> foi suficiente para paralisar o crescimento ou até causar a morte das plantas. Para reduzir em 50% o acúmulo de área foliar, matéria seca de caule e folhas foram necessárias doses de 360,3; 244,4 e 284,3 g e.a.ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Por ocasião da aplicação, as mudas estavam com 2,2 dm<sup>2</sup> de área foliar e apresentavam 1,22 e 2,07 g de matéria seca de caule e folhas, respectivamente.

Em trabalhos realizados na cultura do algodão, YAMASHITA & GUIMARÃES, (2005) observaram leves sintomas de intoxicação nas folhas do algodoeiro quando tratados com 270 g e.a ha<sup>-1</sup> de glyphosate. ELLIS & GRIFFIN (2002) e MILLER et al. (2004) relataram a intoxicação somente em doses superiores a 140 g e.a ha<sup>-1</sup> em algodão não transgênico. Essa resposta do algodoeiro em relação ao glyphosate difere de outras culturas, como milho e sorgo, para as quais os danos são altos em doses inferiores a 172 g e.a ha<sup>-1</sup> (MAGALHÃES et al. 2001).

Na caracterização do eucalipto no dia da aplicação do ensaio 4, constatou-se que a altura das plantas era de 0,69 m. Aos 20 DAA observou-se que doses a partir de 98,3 g e.a de glyphosate.ha<sup>-1</sup> foram suficientes para causar decréscimo de 50% na altura das mudas (Figura 6A).

Comparando a redução percentual de altura nos ensaios 3 e 4, verificou-se que no ensaio 4 as plantas estavam muito mais desenvolvidas no momento da aplicação, mas foram necessárias doses menores do glyphosate para causar o mesmo efeito negativo em seu crescimento. Esses resultados podem ser justificados pelo efeito fonte/dreno, pois em mudas recém transplantadas o dreno



de translocação do herbicida provavelmente é maior para as raízes, causando maior efeito de exsudação radicular do produto. Trabalhando com absorção e translocação de glyphosate em dois clones de eucalipto, MACHADO (2009) observou que duas horas após a aplicação, 51,7 e 57,4% de todo o herbicida presente nas plantas foram detectados no sistema radicular dos clones 2277 e 531, respectivamente. A velocidade de translocação do glyphosate para as raízes está associada ao transporte de açúcares no floema, que em geral pode variar de 0,3 a 1,5 m.h<sup>-1</sup> (TAIZ & ZEIGER, 2004).

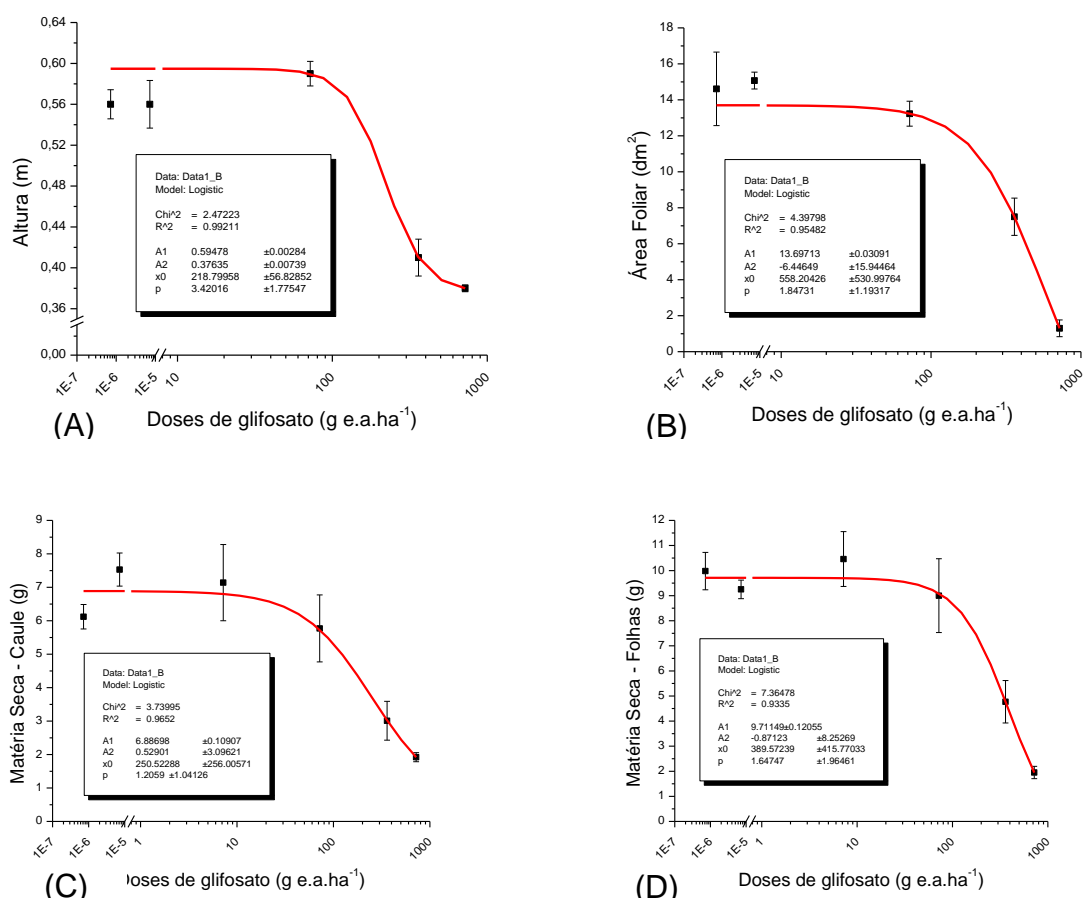


Figura 5. Altura (A), área foliar (B) e matéria seca de caule (C) e folhas (D) de eucalipto submetido a aplicações de doses de glyphosate sobre as plantas, aos 30 DAA no ensaio 3.

Tabela 7. Parâmetros das análises de regressão do modelo Logístico da Figura 5.

Variáveis	Parâmetros do modelo Logístico				
	R <sup>2</sup>	A1	A2	Xo	p
Altura	0,99	0,59	0,38	218,8	6,89
Área Foliar	0,95	13,69	-6,44	558,2	1,84
MS Caule	0,96	6,88	0,53	250,5	1,205
MS Folhas	0,93	9,71	-0,87	389,57	1,647

Em relação a área foliar, houve um acréscimo de 223,1% na testemunha durante os 20 dias de condução do ensaio 4. No momento da aplicação, as mudas estavam com 12,8 dm<sup>2</sup>. Baixas doses de glyphosate já foram suficientes para iniciar a redução exponencial da área foliar. Dose de 121,3 g e.a.ha<sup>-1</sup> foi suficiente para reduzir a área foliar em 50%, ou seja, evitar o acúmulo de área foliar em 50%. Doses de 158,6 e 195,1 g e.a.ha<sup>-1</sup> foram suficientes para reduzir pela metade o acúmulo de matéria seca de caule e folhas, respectivamente, que estavam em média com 5,3 e 7,8 g de matéria seca por planta no dia da aplicação. MAGALHÃES et al. (2001), trabalhando com simulação de deriva do glyphosate na cultura de sorgo, afirmaram que os prejuízos são diretamente proporcionais ao aumento das doses do herbicida. Os autores relataram que a partir de 115,29 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate, as plantas tratadas apresentaram necroses na parte aérea e comprometimento na produtividade, chegando a 53% de intoxicação com 172,8 g e.a. ha<sup>-1</sup> do herbicida.

Para a redução média de 50% das quatro variáveis analisadas (altura, área foliar e matéria seca de caule e folhas), foram necessárias doses de 277,4 e 143,3 g e.a de glyphosate.ha<sup>-1</sup>, nos ensaios 3 e 4, respectivamente. Esse comportamento pode ser explicado pela área foliar, que no momento da aplicação era 5,85 vezes maior no ensaio 4. Isso causou maior retenção foliar do produto e, conseqüentemente, maior absorção do herbicida pelas plantas. A absorção e translocação do glyphosate são influenciadas por diversos fatores, incluindo as características da planta, as condições ambientais, a concentração do herbicida, o surfactante utilizado e o método de aplicação. Os efeitos de tais fatores já foram extensivamente estudados e muitos dos resultados são encontrados nas revisões

feitas por CASELEY & COUPLAND (1985), FRANZ et al. (1997) e VELINI et al. (2009).

A absorção do glyphosate é um processo que envolve rápida penetração inicial através da cutícula, seguida por uma absorção lenta. A difusão é considerada o principal processo de transporte do glyphosate pela cutícula e, portanto, o gradiente de concentração entre a região de deposição e o interior da planta influencia a absorção (ERICKSON & DUKE, 1981).

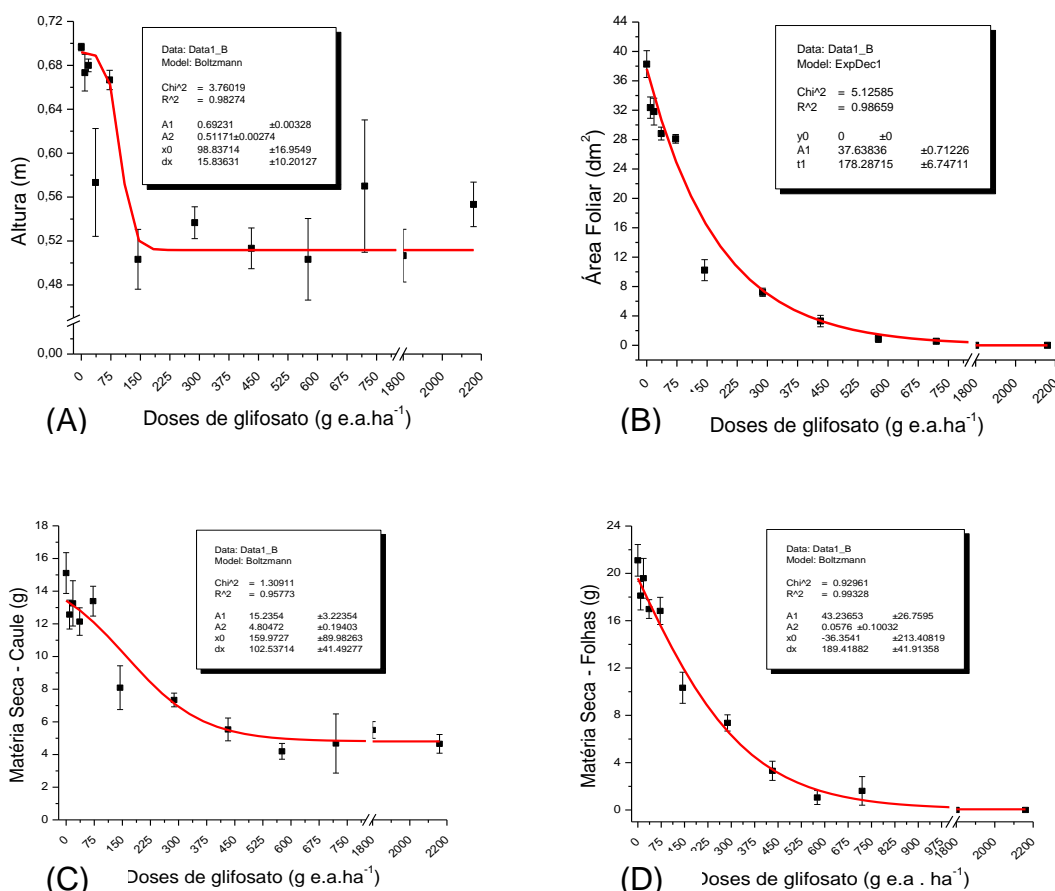


Figura 6. Altura (A), área foliar (B) e matéria seca de caule (C) e folhas (D) de submetido a aplicações de doses de glyphosate sobre as plantas, aos 21 DAA no ensaio 4.

Tabela 8. Parâmetros das análises de regressão do modelo sigmoidal de Boltzmann e Exponencial da Figura 6.

Variáveis	Parâmetros do modelo sigmoidal de Boltzmann				
	R <sup>2</sup>	A1	A2	Xo	dX
Altura	0,98	0,69	0,51	98,0	15.83
MS Caule	0,96	15,23	4,80	159,97	102.53
Variáveis	Parâmetros do modelo exponencial				
	R <sup>2</sup>	A1	t1	Yo	
Área Foliar	0,98	37,64	178,28	0	
MS Folhas	0,99	20,36	249,65	0	



Figura 7. Sintomas do eucalipto (da esquerda para direita) quando tratados com 0, 72, 432 e 144 g de glyphosate.ha<sup>-1</sup>.

A cutícula é primariamente apolar, mas existem diferenças com relação ao grau de hidrofobicidade devido à composição química das ceras. As ceras ricas em compostos triterpenóides, como o ácido ursólico, são altamente hidrorrepelentes, ao passo que as ricas em ésteres são mais hidroafins (CASTRO et al. 2005). Essas diferenças podem refletir na absorção do glyphosate, resultando em menor eficácia do produto quando a cutícula é mais hidrofóbica (CHACHALIS et al. 2001). Outros fatores, como umidade superficial, idade da folha, estágio de crescimento, dentre outros, vão influenciar diretamente a absorção e metabolização.

Segundo SCHÖNHERR (2002), a presença de água é fundamental para uma boa penetração de glyphosate nas folhas, sendo evidente que grande parte do herbicida que penetra em seus tecidos passa por poros hidratados da cutícula.

A densidade estomática também pode influenciar na absorção do glyphosate. Ela é variável de acordo com a idade da planta e diretamente influenciada pelas condições ambientais (CAO, 2000; JUSTO et al. 2005; citados por TUFFI SANTOS et al. 2006). Porém, a correlação entre a porcentagem de intoxicação causada pelo glyphosate e as características índice estomático, densidade estomática e densidade de cavidades, nas duas faces epidérmicas das folhas de eucalipto, foi baixa e não significativa (TUFFI SANTOS et al. 2006). Isso pode ter ocorrido, pois os estômatos são estruturas muito mais eficientes para trocas gasosas (CASTRO, 2009) e o uso de surfactantes pode ajudar neste tipo de penetração.

## **4.2 Ensaio em condições de campo**

### **4.2.1 Primeira época de aplicação (Época 1) – Vinte e cinco dias após o plantio.**

A primeira aplicação de glyphosate no campo foi feita no dia 27/04/04, aos vinte e cinco dias após o plantio das mudas de eucalipto (época 1). Nesta ocasião, o eucalipto estava, em média, com 0,36 m de altura, 1,3 g de matéria seca (M.S) de caule e 2,7 g de M.S de folhas. A temperatura do ar no momento da aplicação era de 29,6 °C, a umidade relativa de 48,0%. A chuva acumulada no mês de abril de 2004 foi de 125 mm.

Na primeira avaliação, realizada aos 2 meses após a aplicação do herbicida (MAA), foi constatado aumento de 206,9% na altura, 7.030,0% na M.S de caule e 4.026,7% na M.S de folhas das plantas testemunhas (Figuras 8A a 8C, p.36). Isso indica elevado desenvolvimento inicial das plantas durante os meses de maio e junho, favorecidas pela elevada precipitação, principalmente do mês de maio, no qual choveu 208 mm.

Ainda aos 2 MAA, foi verificado que doses a partir de 36 g e.a de glyphosate.ha<sup>-1</sup> foram suficientes para causar menor incremento nas variáveis M.S de caule e folhas (Figuras 8B e 8C). Vale ressaltar que não foi possível identificar qualquer dano visual do herbicida no eucalipto na dose de 36 g e.a de glyphosate.ha<sup>-1</sup>. Estudando os efeitos de doses de glyphosate aplicadas sobre mudas de limão cravo em condições controladas, GRAVENA et al. (2009) constataram que mesmo sem apresentar sintomas visuais de intoxicação, o metabolismo das plantas foi afetado até os 8 DAA.

De acordo com os trabalhos citados por YAMADA & CASTRO (2007), em doses subletais de glyphosate, os efeitos na concentração de fenóis em tecidos exportadores de carboidratos podem ser transitórios. Entretanto, os efeitos podem se manter pronunciados em órgãos-drenos, como frutos e flores (BECERRIL et al. 1989), pois o glyphosate é muito móvel no floema, acumulando-se nestes órgãos (CASELEY & COUPLAND, 1985). Ainda segundo os mesmos autores, pode-se considerar que os efeitos nos compostos secundários podem ocorrer somente na presença do herbicida e estes variam em função de vários fatores, tais como, dose, espécie e estágio de desenvolvimento da planta. Aliados a esses efeitos, principalmente no caso de culturas perenes como o eucalipto, o tempo decorrido entre a aplicação de glyphosate e a avaliação dos efeitos deve ser considerado.

Na dose de 288 g e.a glyphosate.ha<sup>-1</sup>, o crescimento das plantas ficou praticamente paralisado até os 2 MAA, enquanto na maior dose aplicada (432 g e.a glyphosate.ha<sup>-1</sup>) houve secamento e morte das plantas. Por este motivo a dose de 432 g e.a glyphosate.ha<sup>-1</sup>, aplicada na época 1, não foi incluída nos testes de comparação de médias.

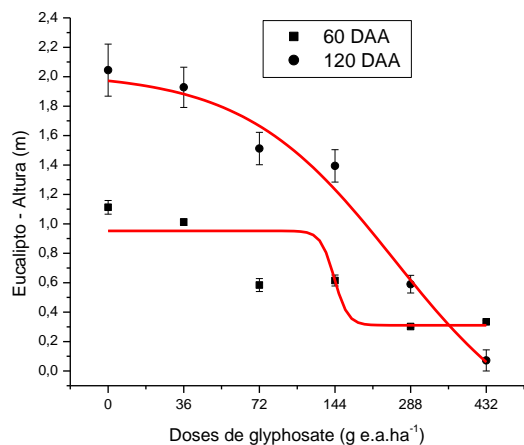
Pelos resultados de crescimento do eucalipto apresentados nas Figuras 8A a 8C, aos 4 MAA, o desenvolvimento das plantas continuou elevado, mesmo com o início do período seco. Dos 2 aos 4 MAA houve aumento de 2,2; 4,5 e 2,9 vezes na altura, M.S de caule e folhas, respectivamente. Comparando os dados de 2 e 4 MAA, nota-se retomada de crescimento normal das plantas que receberam a dose de 36 g e.a de glyphosate.ha<sup>-1</sup>. Aos 4 MAA, nas variáveis altura, M.S de caule e de folhas, não foi mais possível diferenciar este tratamento da testemunha.

Também foi constatado que à medida que as plantas se desenvolviam, aumentava a variabilidade dos dados, conforme pode se verificar pelo erro padrão das médias. Este fato é comum em plantios de campo, mesmo em clones de eucalipto. A clonagem é uma maneira de se evitar a alta variabilidade das populações florestais e permite a reprodução de árvores com características genéticas idênticas ou semelhantes às da árvore matriz. Entretanto, FLORES (1999) estudando a variação das características dendrométricas de 15 árvores originárias de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith, aos oito anos, encontrou uma média de fator de forma ( $c/c$ ) de 0,541, com um CV de 7,14%. Isso mostra que mesmo árvores clonais apresentam uma amplitude significativa para fator de forma.

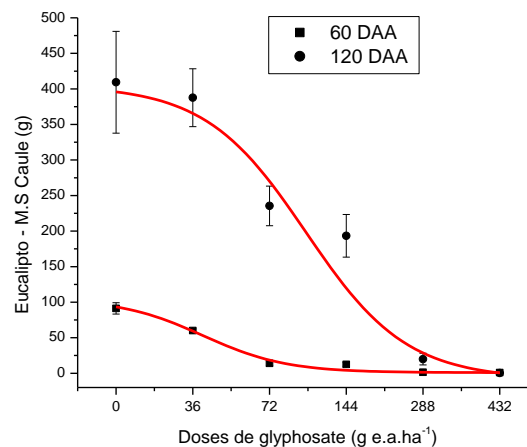
Nas doses de 72 e 144 g e.a de glyphosate.ha<sup>-1</sup>, apesar de causarem redução em altura, M.S de caule e de folhas em relação a testemunha, observou-se crescimento um pouco menos acelerado.

Aos 9, 12 e 25 MAA praticamente não houve efeito das aplicações de glyphosate nas doses de 36, 72 e 144 g e.a.ha<sup>-1</sup> sobre o volume cilíndrico da madeira com casca (Figura 9, p. 37). Esse resultado confirma a tendência de recuperação das plantas que foram tratadas com essas doses aos 4 MAA.

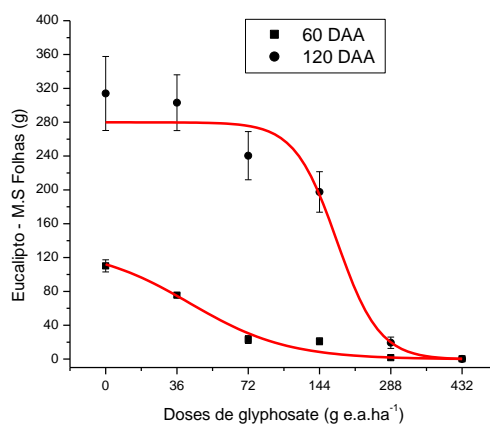
Todavia, apesar do aumento da variabilidade dos dados com o decorrer do tempo, a partir dos 25 MAA houve novamente tendência de redução no volume de madeira quando houve aplicação de doses superiores a 36 g e.a de glyphosate.ha<sup>-1</sup>. Provavelmente esses efeitos estão relacionados ao aumento da competição intra-específica do eucalipto. Com o aumento da altura e massa verde das plantas, a competição por água, nutrientes, luz e espaço é mais acentuada, provocando um efeito de dominância entre as plantas. Plantas que tiveram reduções iniciais de crescimento por causa do glyphosate, provavelmente foram dominadas por aquelas que não receberam o produto.



(A)



(B)



(C)

Figura 8. Altura (A), matéria seca de caule (B) e de folhas (C) de plantas de eucalipto submetidas a aplicações de glyphosate aos 25 dias após o plantio, avaliado aos 2 e 4 meses após a aplicação.

Tabela 9. Parâmetros das análises de regressão do modelo sigmoidal de Boltzmann aos 60 e 120 DAA da Figura 8.

Variáveis	DAA	Parâmetros do modelo sigmoidal de Boltzmann				
		R <sup>2</sup>	A1	A2	Xo	dX
Altura (m)	60	0,92	0,95	0,31	3,99	0,08
	120	0,98	2,02	-0,51	4,78	0,99
M.S caule (g)	60	0,98	104,95	0,93	2,13	0,54
	120	0,96	405,14	-8,15	3,47	0,65
M.S folhas (g)	60	0,98	131,72	-0,24	2,18	0,68
	120	0,99	279,8	-0,61	4,24	0,29



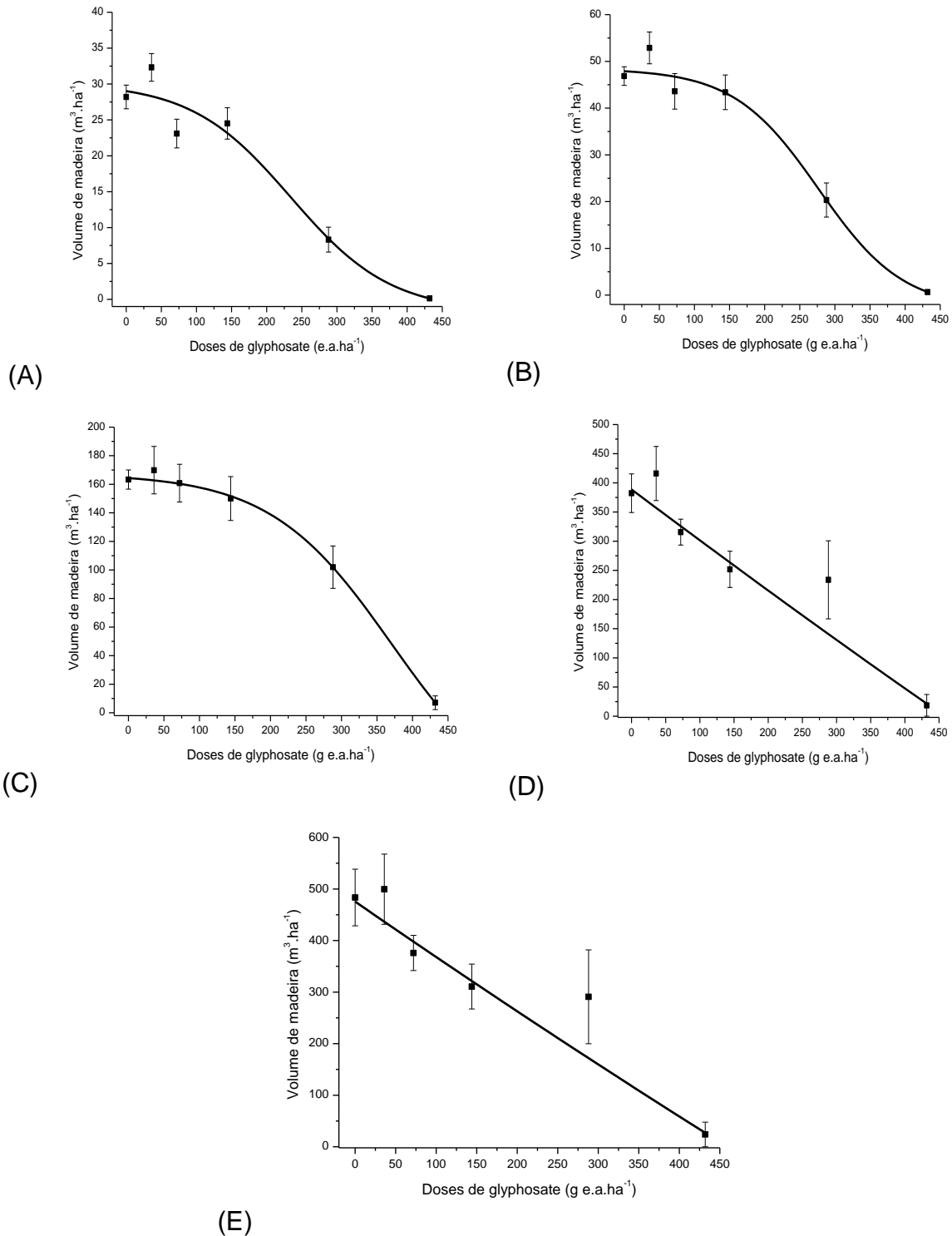


Figura 9. Volume de madeira ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) de plantas de eucalipto submetidas a aplicações de glyphosate aos 25 dias após o plantio, avaliado aos 9 (A), 12 (B), 25 (C), 47 (D) e 61 (E) meses após a aplicação da época 1.

Tabela 10. Parâmetros das análises de regressão do modelo sigmoidal de Boltzmann da Figura 9.

Volume Madeira	Parâmetros do modelo sigmoidal de Boltzmann				
	R <sup>2</sup>	A1	A2	Xo	dX
9 MAA	0,99	30,15	- 1,74	234,43	71,18
12 MAA	0,99	48,41	- 3,00	276,77	60,47
25 MAA	0,99	167,40	- 71,60	371,06	85,54
47 MAA	0,97	2773,64	- 1516,19	- 271,70	1208,95
61 MAA	0,97	14032,04	- 3380,34	- 3476,67	2765,27

#### 4.2.2 Segunda época de aplicação (Época 2) – Noventa dias após o plantio.

Na segunda época de aplicação, que foi realizada no dia 02/07/2004, ou seja, aos 3 meses após o plantio, as plantas estavam com 0,87 m de altura, 40,0 g de M.S de caule + ramos e 64,0 g de M.S de folhas, a temperatura do ar no momento da aplicação era de 27,8 °C, a umidade relativa de 45,0%. A precipitação acumulada nos meses de maio e junho foi de 208 e 19 mm, respectivamente. Novamente, nota-se resposta decrescente do crescimento das plantas em função de doses crescentes do herbicida glyphosate (Figuras 10A a 10C, p. 41).

Para que houvesse reduções no crescimento aos 2 MAA da época 2, foram necessárias doses acima de 144 g e.a de glyphosate.ha<sup>-1</sup>, indicando menor sensibilidade das plantas ao glyphosate quando comparada a época 1. Dos 25 (época de aplicação 1) aos 90 dias após o plantio (época de aplicação 2) houve aumento de 30,8 vezes na matéria seca de caule e 23,7 vezes na matéria seca das folhas na testemunha.

Apesar de possuir maior matéria seca de folhas, conseqüentemente, maior área foliar para retenção da calda do herbicida, o que poderia acarretar em um maior efeito da aplicação de glyphosate sobre o eucalipto, outros fatores influenciam negativamente a penetração do herbicida na planta. O estado de hidratação das folhas tem grande importância na absorção de solutos, pois as cutículas bem hidratadas são mais permeáveis à água e a aplicação (RODRIGUES, 2003). No mês de junho, que antecedeu a aplicação da época 2,

que foi realizada no início do mês de julho, a precipitação foi de apenas 19 mm. A idade das folhas também influencia este processo. Nas folhas mais jovens a atividade metabólica é elevada, o consumo de nutrientes é maior e as mesmas estão mais predispostas à penetração de nutrientes, pois a cutícula é mais fina e possui menor quantidade de ceras e cutina, em contraste a maior quantidade de pectinas, que são mais hidrófilas (RODRIGUES, 2003). O efeito de diluição do produto em função do tamanho das plantas também deve ser considerado. Na aplicação realizada na época 1, a soma de MS de caule e folhas foi de 4,0 g.planta<sup>-1</sup>, enquanto a soma de MS de caule e folhas na época 2 foi de 104,0 g.planta<sup>-1</sup>, ou seja, 26 vezes maior, o que também pode ter provocado um efeito de diluição da calda na planta.

Na época de aplicação 2, a dose de 432,0 g e.a de glyphosate.ha<sup>-1</sup> causou sintomas acentuados de intoxicação no eucalipto. Porém, essa maior dose não foi suficiente para causar a morte das plantas, conforme observado na aplicação da época 1. Mesmo com a intoxicação elevada aos 4 MAA, houve acréscimo de 57,7, 632,9 e 270,9%, na altura e M.S de caule e de folhas, respectivamente. Porém, este crescimento ficou muito abaixo da testemunha, cujo aumento foi de 351,7; 2.165,5 e 741,6% nas mesmas variáveis aos 4 MAA.

Pelos resultados de produtividade das plantas de eucalipto (volume de madeira) referentes à aplicação do glyphosate aos 90 dias após o plantio (época 2), cujas avaliações foram realizadas aos 7, 10, 23, 45 e 59 meses após a aplicação (Figuras 11A a 11E, p. 42), nota-se que aos 7 MAA foram necessárias doses acima de 220 g e.a de glyphosate.ha<sup>-1</sup> para iniciar redução de volume de madeira no eucalipto. Comparando os resultados do ensaio 4 (primeira parte do trabalho), com os dados da aplicação da época 2 (segunda parte do trabalho), no dia da aplicação do ensaio 4 as plantas estavam com 23,05 g de MS de caule e folhas. A dose de 121,3 g e.a de glyphosate.ha<sup>-1</sup> foi suficiente para reduzir a área foliar em 50% aos 21 DAA, enquanto na época 2 a MS de caule e folhas era de 104,0 g.planta<sup>-1</sup> no dia da aplicação. Pelos resultados, observa-se que praticamente foi necessário dobrar a dose de glyphosate para iniciar redução no volume de madeira do eucalipto aos 10 MAA (Figura 11B).

Esses resultados confirmam que o tamanho das plantas no momento da aplicação, aliado ao tempo de recuperação das mesmas proporcionam menor efeito do herbicida no eucalipto ao longo do tempo. Com o passar do tempo (23 meses), as plantas que receberam os tratamentos com o herbicida glyphosate, se não morrerem ou apresentarem danos muito severos, tenderam a apresentar um desenvolvimento acelerado novamente. Os fatores ligados ao manejo da cultura ou ao próprio comportamento e adaptação da população devem ser considerados. A redução de crescimento inicial das plantas, por causa da deriva ou intoxicação por herbicidas, pode provocar dominância de uma planta (não tratada) sobre a outra (tratada), aumentando a variabilidade dos parâmetros biométricos da população.

Além disso, o potencial competitivo da cultura com as plantas daninhas pode ficar alterado. O desenvolvimento inicial mais lento das plantas pode desencadear em uma série de efeitos negativos secundários da deriva de glyphosate no eucalipto. Como exemplo, o menor aproveitamento da adubação, maior erosão superficial do solo, menor penetração de água no solo, dentre outros.

Dos 23 até os 59 meses após a aplicação do glyphosate, apenas doses acima de  $300,0 \text{ g e.a.ha}^{-1}$  proporcionaram redução definitiva do volume de madeira produzido pelo eucalipto. Vale destacar que esta dose está muito acima do que se pode considerar como deriva acidental no campo (10% da dose comercial aplicada).

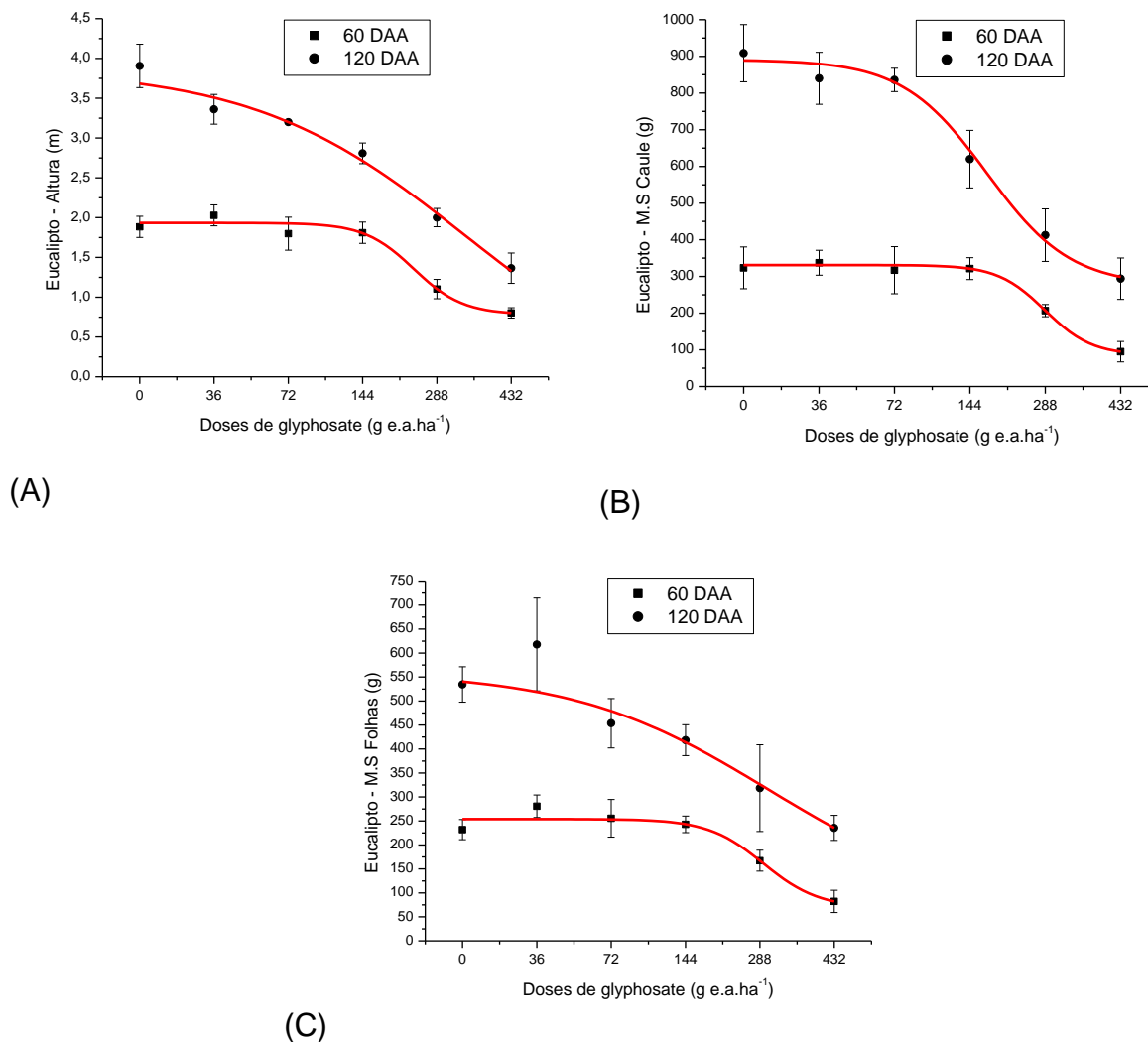


Figura 10. Altura (A), matéria seca de caule (B) e de folhas (C) de plantas de eucalypto submetidas a aplicações de glyphosate aos 90 dias após o plantio, avaliado aos 2 e 4 meses após a aplicação.

Tabela 11. Parâmetros das análises de regressão do modelo sigmoidal de Boltzmann aos 60 e 120 DAA da Figura 10.

Variáveis	DAA	Parâmetros do modelo sigmoidal de Boltzmann				
		R <sup>2</sup>	A1	A2	Xo	dX
Altura (m)	60	0,99	1,93	0,78	4,68	0,33
	120	0,99	3,87	-0,37	5,41	1,44
M.S caule (g)	60	0,99	331	85,37	4,99	0,31
	120	0,99	890,36	274,47	4,22	0,55
M.S folhas (g)	60	0,95	253,93	68,75	5,04	0,37
	120	0,97	561,19	67,66	5,12	1,31

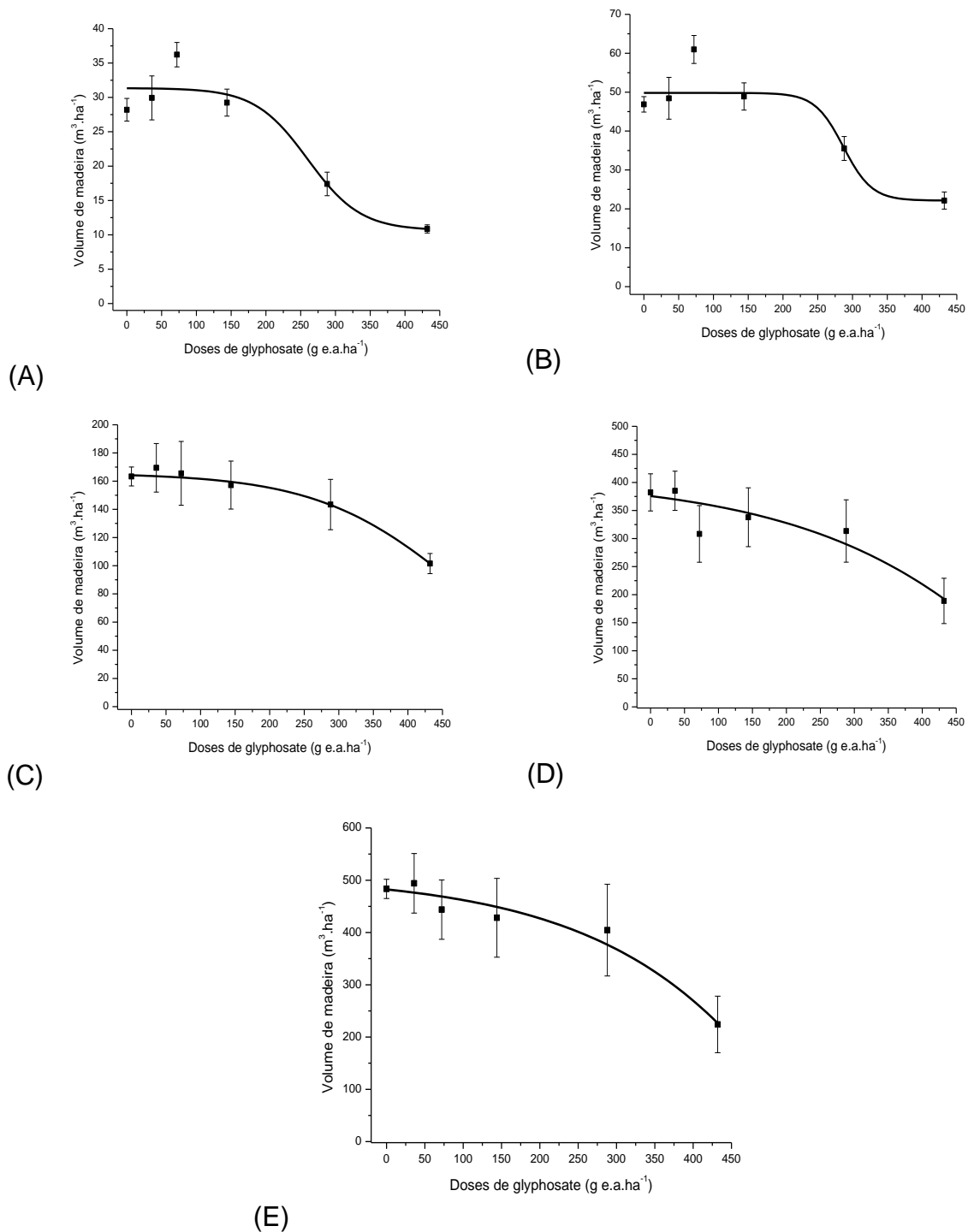


Figura 11. Volume de madeira ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) de plantas de eucalipto submetidas a aplicações de glyphosate aos 90 dias após o plantio, avaliado aos 7 (A), 10 (B), 23 (C), 45 (D) e 59 (E) meses após a aplicação da época 2.

Tabela 12. Parâmetros das análises de regressão do modelo sigmoidal de Boltzmann da Figura 11.

Volume Madeira	Parâmetros do modelo sigmoidal de Boltzmann				
	R <sup>2</sup>	A1	A2	Xo	dX
7 MAA	0,96	31,35	10,64	260,12	37,98
10 MAA	0,90	49,79	22,12	286,81	20,43
23 MAA	0,99	165,73	5,37	473,45	102,63
45 MAA	0,91	408,78	- 1151,38	825,10	215,23
59 MAA	0,98	510,74	- 3502,12	900,71	182,05

#### 4.2.3 Terceira época de aplicação (Época 3) – Cento e cinquenta dias após o plantio.

Na época 3, a aplicação foi realizada no dia 01/09/04 e o eucalipto estava com 1,57 m de altura e 222,8 g de M.S de caule + ramos e 217,0 g de M.S de folhas. A temperatura do ar no momento da aplicação era de 31,0°C, a umidade relativa de 33,0 % e não houve chuva no mês de agosto de 2004. De uma forma geral, a redução de volume causada pelas aplicações do herbicida glyphosate foram menos intensas do que nas épocas 1 e 2. Esses resultados podem estar relacionados principalmente à época seca e mais fria do ano em que foi aplicado o herbicida, ao efeito de diluição do produto em função do tamanho das plantas no momento da aplicação e a menor absorção do produto por causa da baixa umidade relativa do ar, que era de 33% por ocasião da aplicação.

Comparando as plantas de eucalipto no momento das aplicações nas épocas 1 e 3, observa-se que na época 3, a altura era 4,4 e a M.S de caule e folhas era 222,8 e 217,0 vezes maior, respectivamente.

Novamente, foram necessárias doses superiores a 144 g e.a de glyphosate.ha<sup>-1</sup> para causar efeitos decrescentes na altura e M.S de caule e de folhas aos 2 MAA (Figuras 12A, 12B e 12C, p. 45). Pelos resultados obtidos aos 4 MAA, houve recuperação das plantas que receberam doses iguais ou superiores a 144 g e.a de glyphosate.ha<sup>-1</sup>, principalmente para M.S de caule e de folhas. Também fica evidente, novamente, a maior variabilidade dos dados para M.S de caule e de folhas em todos os tratamentos.

Pelos resultados de produção - volume de madeira (Figuras 13A a 13E, p. 46), cujas avaliações foram realizadas aos 5, 8, 21, 43 e 57 meses após a aplicação de glyphosate, nota-se que aos 5 meses após a aplicação foram necessárias doses acima de 250 g e.a de glyphosate.ha<sup>-1</sup> para iniciar redução de volume de madeira no eucaliptal. Aos 5 MAA, o volume de madeira na assíntota superior da análise de regressão sigmoidal (produtividade máxima) foi de aproximadamente 30 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, enquanto na assíntota inferior (produtividade mínima) o volume foi de 22 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. Aos 9 e 43 MAA não foi verificado um bom ajuste para o modelo sigmoidal, mas ao final do experimento (57 MAA), a diferença entre a maior e a menor produção foi de 163,8 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.

A produtividade máxima foi de 483,2 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, enquanto a produtividade mínima foi de 319,4 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, indicando que nas maiores doses aplicadas do herbicida houve recuperação parcial na produtividade.

Na literatura podem ser encontrados resultados controversos dos efeitos metabólicos causados pelo glyphosate. YAMADA & CASTRO (2007) citam que vários trabalhos demonstraram que plantas tratadas com glyphosate tornam-se deficientes em três aminoácidos aromáticos, sendo que a adição exógena destes metabólitos reverte a intoxicação (FRANZ et al. 1997). VELINI et al. (2009) afirmam que a ação do glyphosate está associado ao bloqueio da enzima EPSPS, mas os eventos que ocorrem após a inibição da enzima ainda não estão bem esclarecidos. Os autores completam que não é correto dizer que o seu efeito decorre apenas do bloqueio da síntese de aminoácidos aromáticos, e que, em geral, a sua suplementação com os aminoácidos não é suficiente para reverter os efeitos do glyphosate. Em ampla revisão de literatura sobre complexos metálicos e glyphosate feita por COUTINHO & MAZO (2005), os autores concluem que os complexos de cobre foram amplamente estudados, enquanto existem vários outros íons importantes que devem pesquisados. Citam ainda que o estudo das propriedades complexantes do glyphosate pode ser justificado não somente pelo interesse químico, mas também porque as informações obtidas através das pesquisas são essenciais para compreensão do comportamento deste herbicida no solo e nas plantas.



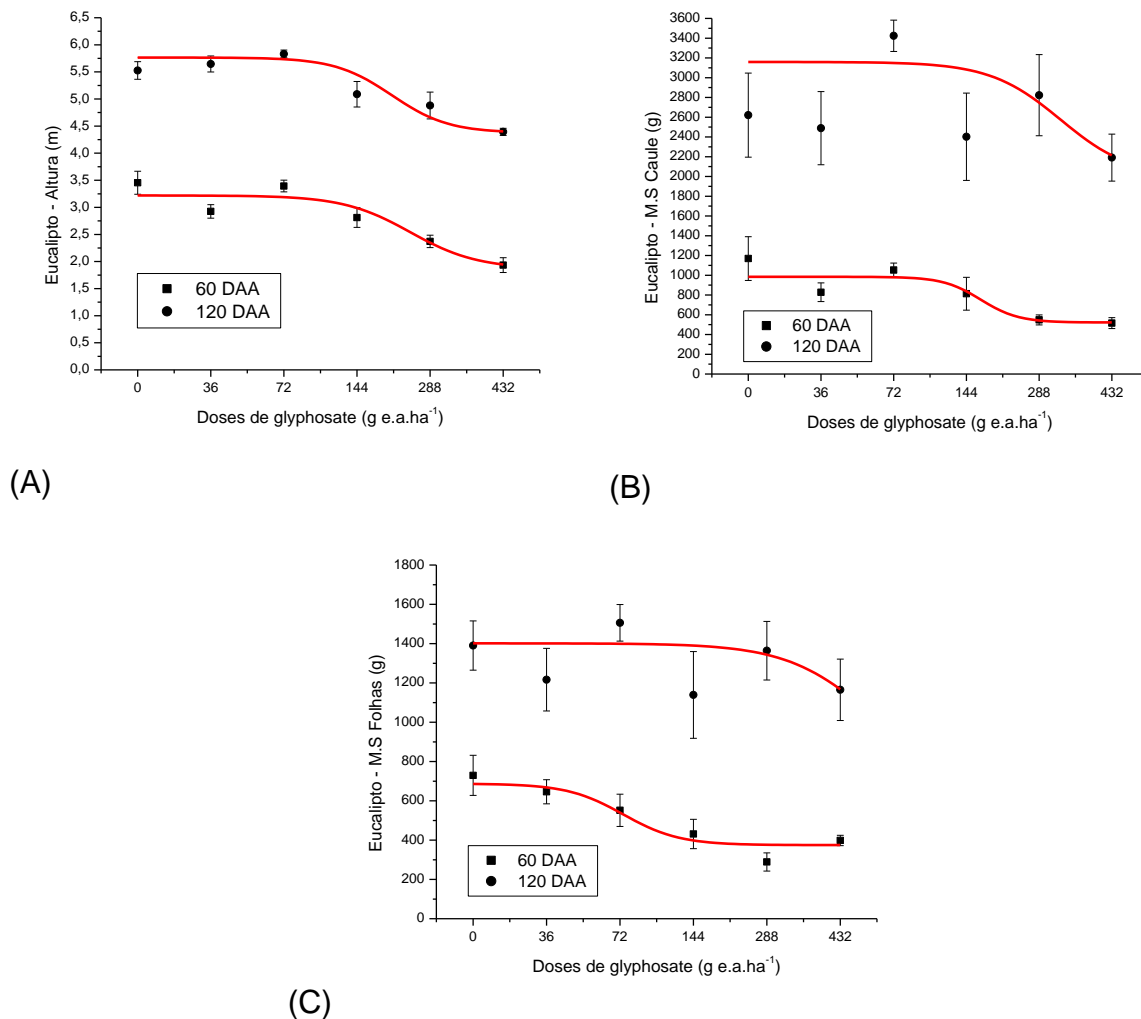


Figura 12. Altura (A), matéria seca de caule (B) e de folhas (C) de plantas de eucalpto submetidas a aplicações de glyphosate aos 150 dias após o plantio, avaliado aos 2 e 4 meses após a aplicação.

Tabela 13. Parâmetros das análises de regressão do modelo sigmoidal de Boltzmann aos 60 e 120 DAA da Figura 12.

Variáveis	DAA	Parâmetros do modelo sigmoidal de Boltzmann				
		R <sup>2</sup>	A1	A2	Xo	dX
Altura (m)	60	0,87	3,21	1,86	4,72	0,46
	120	0,96	5,76	4,37	4,47	0,38
M.S caule (g)	60	0,91	521,86	984,16	4,19	-0,25
	120	0,54	3159,3	1991,4	5,29	0,48
M.S folhas (g)	60	0,85	687,40	374,58	3,04	0,38
	120	0,32	1401,40	644,31	6,47	0,59

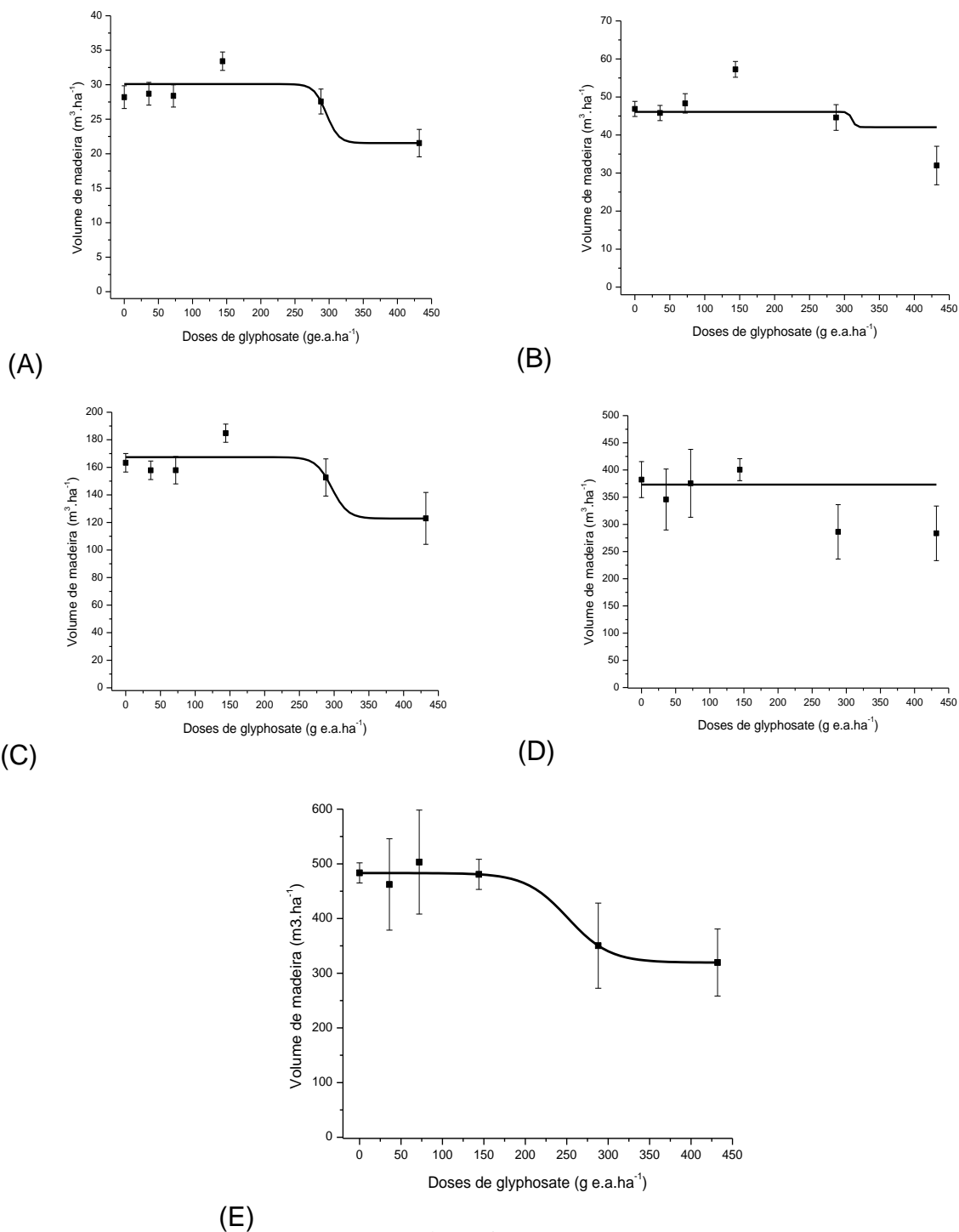


Figura 13. Volume de madeira (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) de plantas de eucalipto submetidas a aplicações de glyphosate aos 150 dias após o plantio, avaliado aos 5 (A), 8 (B), 21 (C), 43 (D) e 57 (E) meses após a aplicação da época 3.

Tabela 14. Parâmetros das análises de regressão do modelo sigmoidal de Boltzmann da Figura 13.

Volume Madeira	Parâmetros do modelo sigmoidal de Boltzmann				
	R <sup>2</sup>	A1	A2	Xo	dX
5 MAA	0,64	3,10	21,54	295,85	9,03
8 MAA	- 0,01	42,06	46,09	310,88	- 2,67
21 MAA	0,38	167,41	122,84	296,47	11,50
43 MAA	- 0,01	372,76	373,57	- 6,66	3,15
57 MAA	0,98	483,16	319,40	251,10	25,34

#### 4.2.4 Quarta época de aplicação (Época 4) – Duzentos e dez dias após o plantio.

Na época 4, cuja aplicação foi realizada no dia 08/11/04 (cerca de 210 dias após o plantio), as plantas de eucalipto estavam com 3,07 metros de altura, 961,1 g de MS de caule e 612,0 g de MS folhas, a temperatura do ar no momento da aplicação era de 31,5 °C, e a umidade relativa de 45,0%. A chuva acumulada no mês de outubro e novembro foi de 159 e 251 mm, respectivamente. Nota-se que apesar do crescimento das plantas dos 150 para os 210 dias após o plantio (épocas 3 e 4, respectivamente), o eucalipto estava mais sensível aos tratamentos com o herbicida glyphosate. As aplicações foram realizadas em condições mais adequadas de umidade do solo e temperatura, o que pode ter favorecido a penetração, absorção e translocação do herbicida nas plantas. Além disso, cabe ressaltar que por causa do tamanho das plantas no dia da aplicação, houve mudança na forma de aplicação. Em vez de se fazer a aplicação sobre as plantas, como foi feito nas épocas 1, 2 e 3, as aplicações nas épocas 4 e 5 foram realizadas com a barra de pulverização inclinada lateralmente, dos dois lados da planta e com um volume de calda por hectare reduzido pela metade (de 200 para 100 L de calda.ha<sup>-1</sup>). Isso, sem dúvida aumentou a penetração das gotas no interior da planta, a área de retenção foliar do herbicida e a concentração da calda do herbicida e, conseqüentemente, favoreceu a absorção do produto. A absorção

do glyphosate normalmente aumenta com a redução no volume de aplicação e aumento de sua concentração (STAHLMAN & PHILLIPS, 1979).

Aos 2 MAA, doses acima de  $144 \text{ g e.a.ha}^{-1}$  foram suficientes para proporcionar reduções em altura e M.S do caule (Figuras 14A e 14B, p. 49). Na maior dose ( $432,0 \text{ g e.a.ha}^{-1}$ ), o herbicida paralisou o crescimento em altura das plantas. As plantas na testemunha passaram de 3,07 m no dia da aplicação para 5,64 metros aos 2 MAA da época 4. Não foi possível verificar os mesmos efeitos para matéria seca de folhas (Figura 14C), o que pode ser explicado pelo aumento da massa foliar específica.

Após esta data (270 dias após o plantio), não foi mais possível fazer as avaliações de matéria seca de caule e folhas, devido ao tamanho das plantas e volume do material vegetal a ser transportado e seu manuseado no laboratório.

Na Figura 15 (p. 51) estão apresentados os resultados de produtividade das plantas de eucalipto (volume de madeira) em função das aplicações de glyphosate realizadas aos 210 dias após o plantio. As avaliações foram feitas aos 3, 6, 19, 41 e 55 meses após a aplicação de glyphosate. Pelos resultados, nota-se que apesar de um bom ajuste do modelo da regressão sigmoideal, os parâmetros de estimativa de produtividade máxima e mínima não se enquadraram no comportamento de crescimento do eucalipto, como observado aos 3 MAA.

Doses a partir de  $144 \text{ g e.a.ha}^{-1}$  de glyphosate foram suficientes para proporcionar redução no volume de madeira aos 3 MAA. Aos 6 e 19 MAA apenas doses acima de  $200 \text{ g e.a.ha}^{-1}$  causaram redução na produtividade do eucalipto, enquanto aos 41 e 55 MAA apenas doses acima de  $350 \text{ g e.a.ha}^{-1}$  foram suficientes para manter os níveis de produtividade abaixo do comportamento de maior produtividade. Esses resultados ilustram claramente a tendência de recuperação das plantas ao longo do tempo.

Provavelmente, a redução da produtividade observada por longos períodos de tempo após as aplicações de glyphosate não se devem mais a presença do herbicida nas plantas. Essas respostas na produtividade podem ser devido ao efeito de competição entre as plantas. O eucalipto é bastante sensível à competição pelos recursos do meio, como água, nutrientes e luz sendo comum à

observação de uma rápida segregação dos indivíduos em um talhão com espaçamentos menores, onde são identificadas árvores dominantes, codominantes e dominadas (HILLIS & BROWN, 1978).

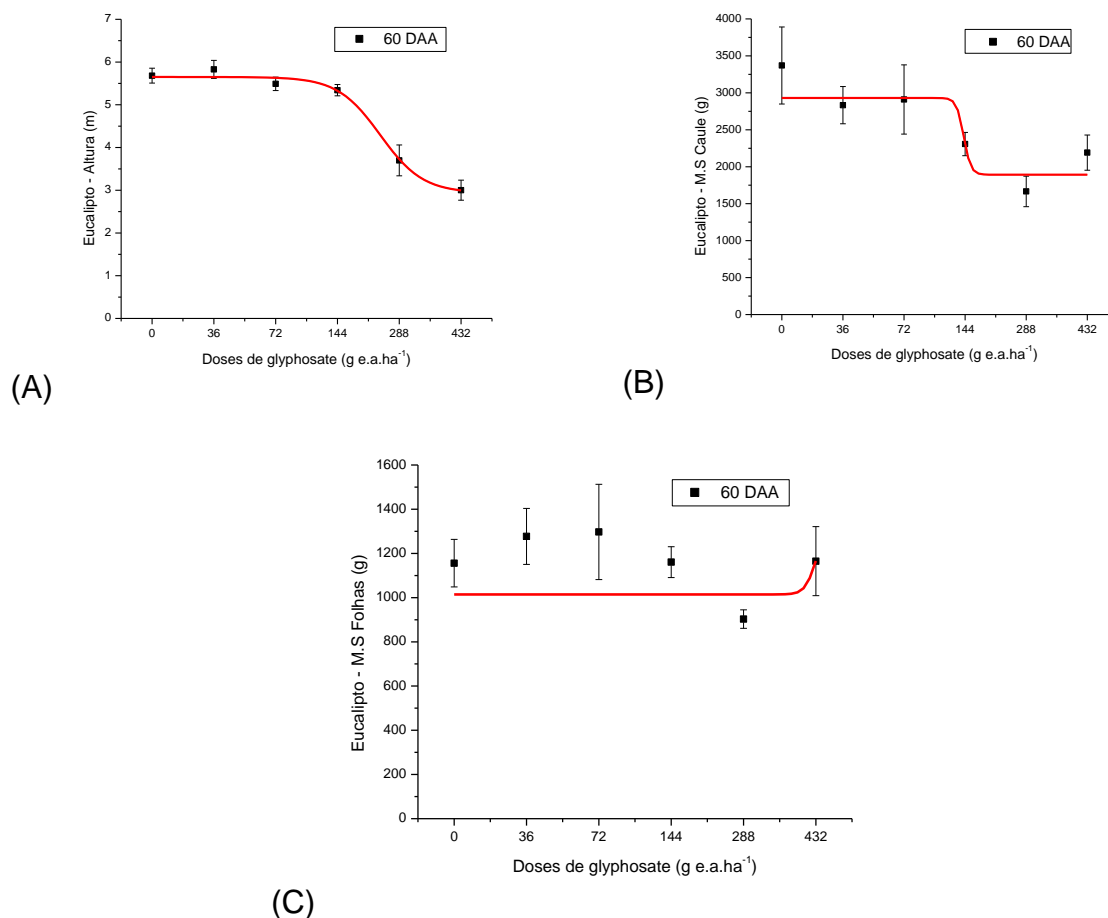


Figura 14. Altura (A), matéria seca de caule (B) e de folhas (C) de plantas de eucalipto submetidas a aplicações de glyphosate aos 210 dias após o plantio, avaliado aos 2 meses após a aplicação.

Tabela 15. Parâmetros das análises de regressão do modelo sigmoidal de Boltzmann aos 60 e 120 DAA da Figura 14.

Variáveis	DAA	Parâmetros do modelo sigmoidal de Boltzmann				
		R <sup>2</sup>	A1	A2	Xo	dX
Altura (m)	60	0,78	5,65	2,93	4,69	0,34
M.S caule (g)	60	0,81	2930,30	1892,20	3,97	0,05
M.S folhas (g)	60	0,04	1014,5	1298,7	5,99	0,07

Assim a garantia da uniformidade não depende apenas da genética, uma vez que os fatores ambientais podem variar entre indivíduos devido à qualidade das operações silviculturais, como preparo do solo, fertilização e controle da matocompetição, afetando o crescimento individual das árvores e acelerando a competição intra-específica e conseqüentemente, reduzindo a produtividade florestal (STAPE et al. 2004).

O aumento de intensidade da competição intra-específica reduz a uniformidade de crescimento entre árvores e aumenta a quantidade de árvores dominadas, as quais possuem menor eficiência de utilização dos recursos do meio, comparadas às árvores dominantes (BINKLEY et al. 2002).

As reduções do desenvolvimento inicial, principalmente em fases de maior crescimento, podem provocar sintomas negativos indiretos e definitivos. Estudando a toxicidade de glyphosate em plantas novas de citrus, em aplicações caulinares e foliares, GRAVENA et al. (2009) concluíram que as plantas foram afetadas nas doses de 360 e 720 ge.a.ha<sup>-1</sup>, respectivamente, e que de seis a doze meses após as aplicações, as plantas estavam recuperadas quanto ao diâmetro de caule, diâmetro da copa e altura.

O herbicida glyphosate provoca uma série de efeitos no metabolismo secundário das plantas, resultando em alterações nas plantas, tais como: nas sínteses do ácido indolilacético (IAA), do etileno, síntese de compostos fenólicos, de aminoácidos, síntese de proteínas, de clorofilas, na ultraestrutura celular, na permeabilidade de membranas, na fotossíntese, respiração e transpiração, na germinação de sementes e desenvolvimento das plantas, dentre outros (YAMADA & CASTRO (2007).

São escassos os trabalhos encontrados na literatura quando se trata de efeitos de glyphosate a longo prazo e em culturas perenes. MESCHEDE et al. (2007b), analisando os teores de lignina e celulose em amostras de *Brachiaria decumbens* submetidas a subdoses de glyphosate, observaram diminuição em cerca de 50% nos níveis originais de lignina a partir de 30 dias após a aplicação do produto, em dose de 20 mL ha<sup>-1</sup>. Também na cana-de-açúcar, MESCHEDE et

al. (2007c) observaram uma redução de 30% no nível de lignina 30 dias após a aplicação de 400 mL.ha<sup>-1</sup> de glyphosate como maturador.

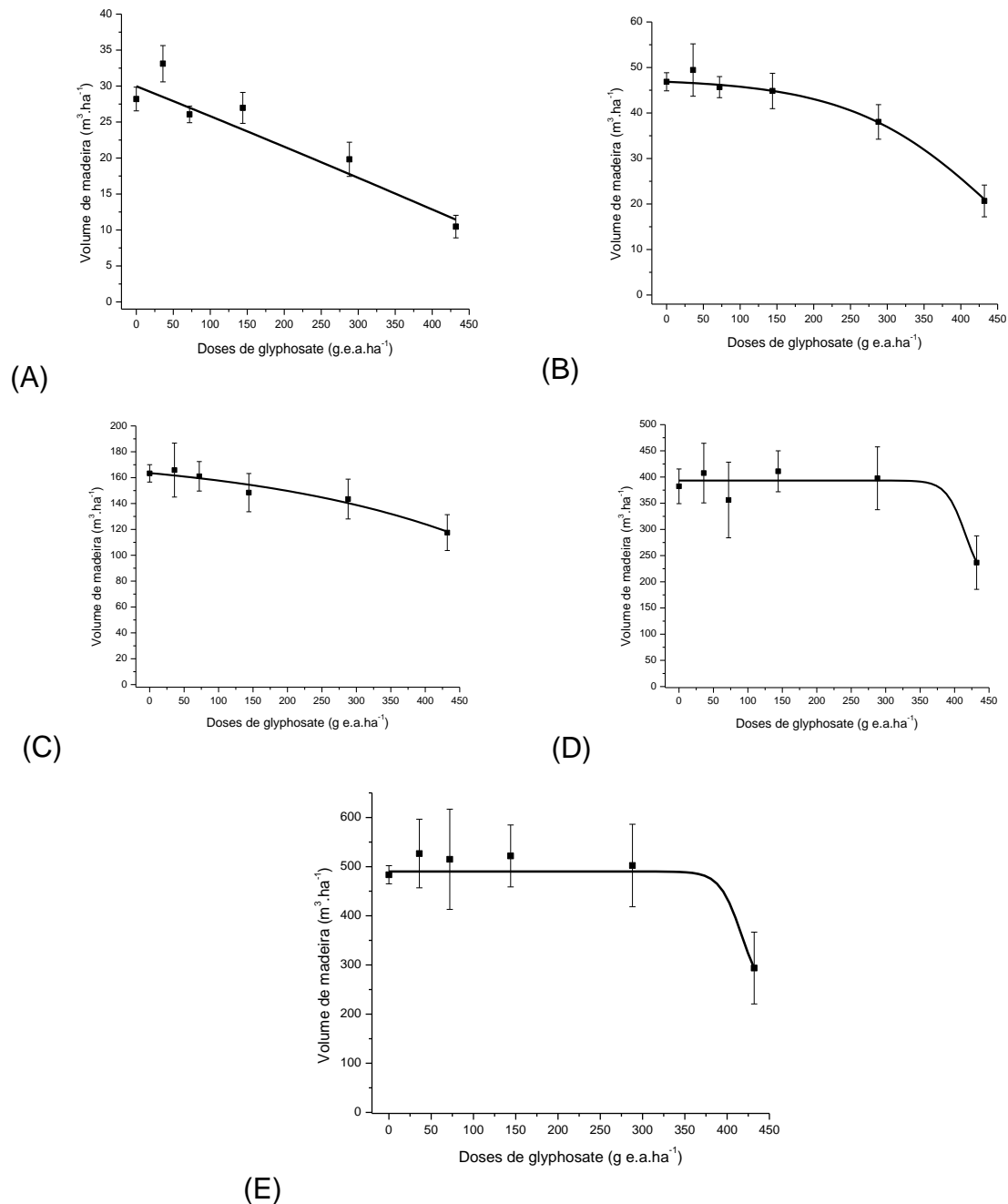


Figura 15. Volume de madeira (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) de plantas de eucalipto submetidas a aplicações de glyphosate aos 210 dias após o plantio, avaliado aos 3 (A), 6 (B), 19 (C), 41 (D) e 55 (E) meses após a aplicação da época 4.

Tabela 16. Parâmetros das análises de regressão do modelo sigmoidal de Boltzmann da Figura 15.

Volume Madeira	Parâmetros do modelo sigmoidal de Boltzmann				
	R <sup>2</sup>	A1	A2	Xo	dX
3 MAA	0,92	140,50	- 216,01	1479,80	1849,67
6 MAA	0,99	47,53	- 14,36	461,37	102,64
19 MAA	0,97	178,92	- 1160,47	1366,67	306,60
41 MAA	0,92	393,34	185,71	416,04	14,19
55 MAA	0,90	490,11	231,24	417,16	12,95

#### 4.2.5 Quinta época de aplicação (Época 5) – Duzentos e setenta dias após o plantio.

Nas Figuras 16A a 16E (p. 55) estão apresentados os resultados de produção das plantas de eucalipto (volume de madeira) em função da aplicação do herbicida glyphosate aos 270 DAP. As avaliações foram feitas aos 1, 4, 17, 39 e 53 meses após a aplicação.

Diferentemente do que ocorreu em todo o ensaio, na época 5, cuja aplicação foi realizada no dia 13/01/05, não foi verificada redução do volume de madeira resultante da aplicação do glyphosate em nenhuma das avaliações. No dia da aplicação, as plantas estavam com 5,38 metros de altura, 3.346,2 g de M.S de caule e 1.340,0 g de M.S de folhas. Na ocasião da aplicação, as condições de umidade do solo, umidade relativa do ar e temperatura do ar estavam mais favoráveis a absorção e translocação do herbicida nas plantas. A temperatura do ar no momento da aplicação era de 28,2 °C, a umidade relativa de 43,0% e a chuva acumulada no mês de dezembro de 2004 e janeiro de 2005 foi de 169 e 474 mm, respectivamente.

Nesta época, é muito provável que o efeito da diluição do produto na planta tenha sido a principal causa da falta de resposta do eucalipto ao glyphosate.

Nas pesquisas que envolvem efeitos de glyphosate em culturas perenes, como no caso do eucalipto, os objetivos não devem focar somente os efeitos a curto prazo. As respostas ao ambiente, à fertilidade do solo, ao manejo da cultura, à época de plantio, à densidade populacional, ao material genético, dentre outros,



podem modificar substancialmente os resultados ao longo do tempo. SILVA (2005), conduzindo um ensaio de arranjo e espaçamento na produtividade e uniformidade de dois clones de eucalipto, concluiu que para as decisões do melhor arranjo de plantio não podem ser tomadas com base nas avaliações iniciais, antes dos 3 anos, podendo levar a adoção de arranjos inadequados, que resultarão em menor produtividade ao final da rotação. Dessa maneira, fica evidente que a cultura do eucalipto tem a capacidade de se recuperar quando sob condições adversas, inclusive “tolerar” a deriva de glyphosate, até determinado limite e, quanto mais jovem estiver a cultura no momento da deriva, maiores serão os efeitos negativos diretos e indiretos, que dependendo da dose poderão ser permanentes.

#### **4.3 Teores de lignina total, holocelulose, extrativos e densidade básica da madeira do caule de eucalipto, submetidos a doses de glyphosate aos 150 dias após o plantio (época 3).**

Nas Figuras 17 A a D (p. 56), a linha horizontal representa a média dos teores históricos de lignina, holocelulose, extrativos e densidade básica da madeira, encontrados em pelo menos seis amostras retiradas do mesmo material usado no ensaio (clone C219), plantados e colhidos em anos diferentes, porém, na mesma região onde foi conduzido o ensaio.

Na Figura 17 A estão apresentados os valores de porcentagem de lignina total de amostras coletadas antes da colheita do eucalipto (68 meses após o plantio). Pelos resultados das análises estatísticas verifica-se que não houve qualquer alteração do teor de lignina total (%) em função das aplicações de glyphosate na época 3 (5 meses após o plantio). Os mesmos resultados foram observados para porcentagem de holocelulose (Figura 17 B) e densidade básica da madeira (Figura 17 D). Vale ressaltar que a média da densidade básica da madeira obtida no ensaio ficou abaixo da média histórica obtida pela empresa para este clone.

Em relação aos extrativos, que representam menos de 5% do total da amostra, verifica-se certa variação dos resultados (Figura 17 C). Nota-se que para o tratamento testemunha, o teor de extrativos foi de 3,5%, ficando acima da média histórica dos valores registrados pela empresa (2,4% - linha horizontal), enquanto nos demais tratamentos os valores ficaram entre 1,4 e 2,25%. Para a produção de celulose, os extrativos são compostos indesejáveis, pois reduzem o rendimento e qualidade da polpa. No entanto, na produção de energia alguns contribuem para aumentar o poder calorífico da madeira (PHILIPP & D'ALMEIDA, 1988). Nos extrativos se encontram vários compostos fenólicos, dos quais alguns são resíduos e subprodutos da biossíntese da lignina (FRADINHO et al. 2002) e que são originários da via do ácido chiquímico (que é inibida pelo glyphosate). Em virtude destes resultados, possivelmente os extrativos poderiam servir como uma ferramenta a mais para prognóstico do efeito do glyphosate nas árvores. Inclusive, neste trabalho, não fica descartada a hipótese de que os teores de extrativos obtidos no histórico da empresa (cujos valores ficaram abaixo do da testemunha sem aplicação de glyphosate) indiquem que as árvores possam ter sofrido a deriva do herbicida em razão das aplicações normais de manejo da cultura.

Na prática, os valores obtidos para os teores de lignina, holocelulose, extrativos e densidade básica da madeira, e suas pequenas variações, não promoveriam alterações nos processos químicos para a obtenção de celulose na indústria, ou seja, não ocorreram variações significativas em decorrência dos tratamentos.

#### **4.4 Rendimento ao cozimento (NIR) em função de épocas de aplicação e doses de glyphosate.**

Nas Figuras 18 A a E (p. 57) estão apresentados os resultados de cozimento da madeira referentes aos tratamentos das cinco épocas de aplicação.

Para esta característica não havia dados históricos do clone C 219 disponíveis na empresa. Todavia, nota-se que não houve qualquer tipo de

variação do rendimento de cozimento em função do aumento de doses do glyphosate, e nem de diferentes épocas de aplicação do herbicida.

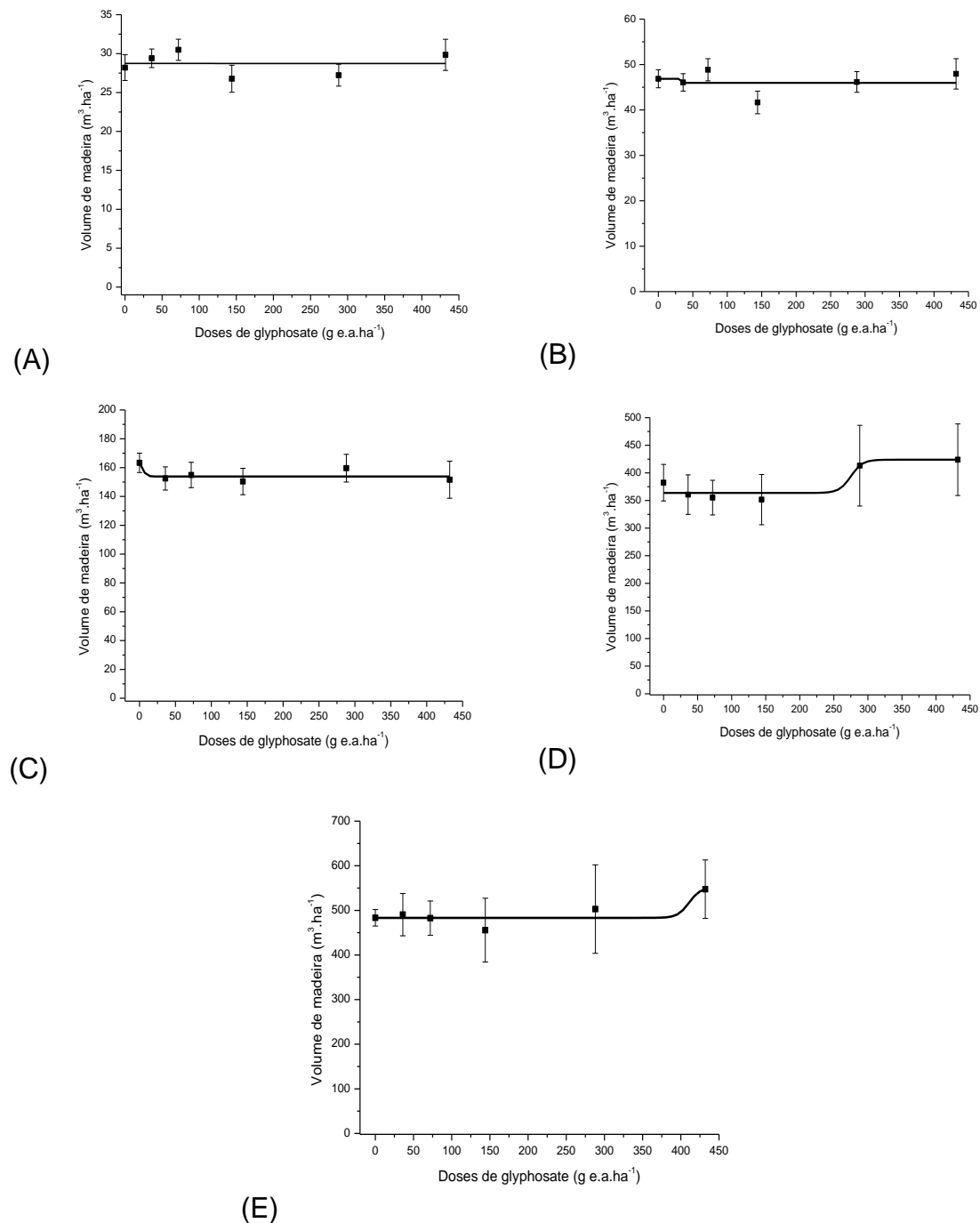
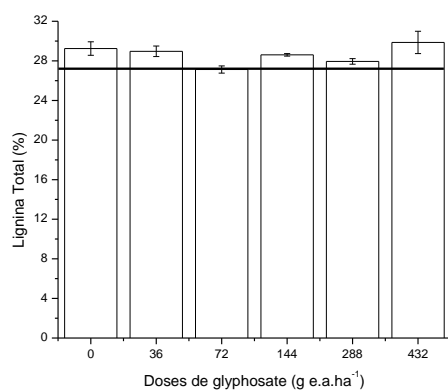


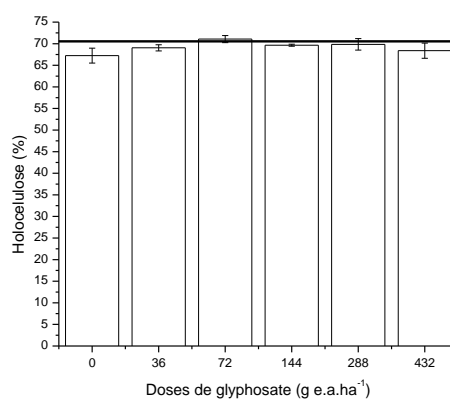
Figura 16. Volume de madeira (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) de plantas de eucalipto submetidas a aplicações de glyphosate aos 270 dias após o plantio, avaliado aos 1 (A), 4 (B), 17 (C), 39 (D) e 53 (E) meses após a aplicação da época 5.

Tabela 17. Parâmetros das análises de regressão do modelo sigmoidal de Boltzmann da Figura 16.

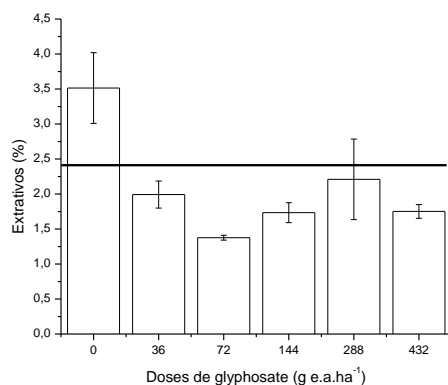
Volume Madeira	Parâmetros do modelo sigmoidal de Boltzmann				
	R <sup>2</sup>	A1	A2	Xo	dX
1 MAA	0,00	28,72	28,74	153,95	- 143,31
4 MAA	0,03	46,85	45,97	35,23	0,37
17 MAA	0,71	166,53	153,84	3,20	2,95
39 MAA	0,71	363,70	423,91	275,03	8,54
53 MAA	0,81	483,24	551,09	410,67	7,41



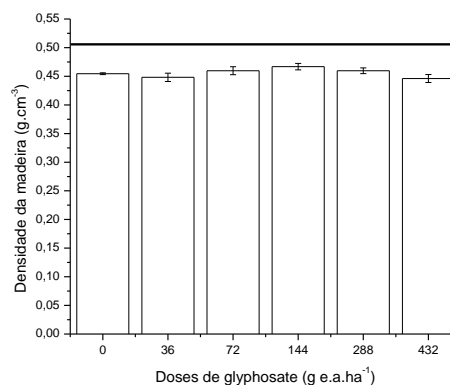
(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 17. Teor de lignina, holocelulose e extrativos, e densidade básica da madeira ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ), de plantas de eucalipto em função de doses de glyphosate aplicadas aos 150 dias após o plantio (Época 3), e avaliadas aos 68 meses após o plantio.

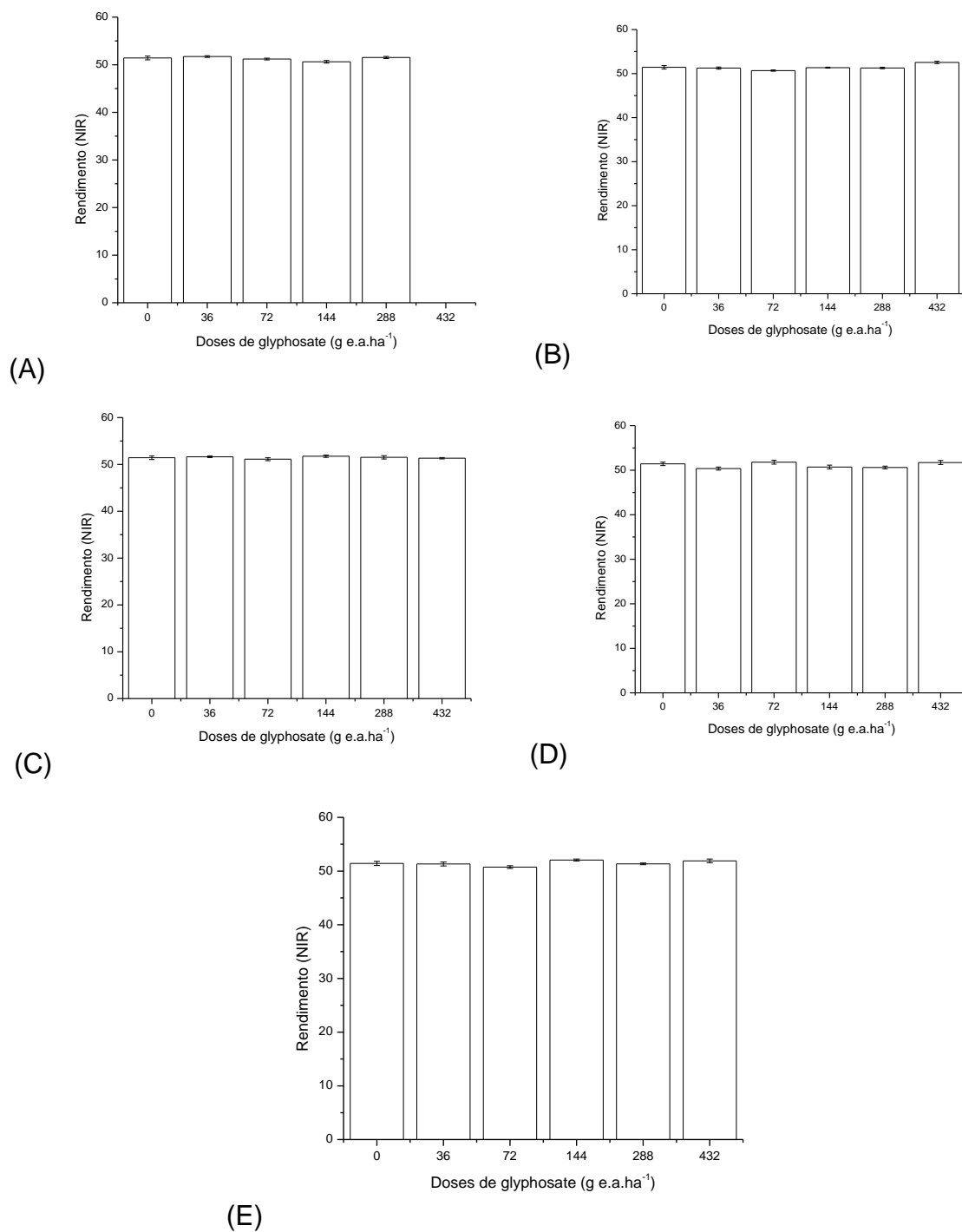


Figura 18. Análises de rendimento ao cozimento em todos os tratamentos das épocas de aplicação 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D) e 5 (E), avaliados aos 68 meses após o plantio.

## 5 CONCLUSÕES

- a) As plantas de eucalipto toleram pequenas doses de glyphosate, sem que haja redução duradoura de crescimento ou de produtividade. As máximas doses toleradas pelo eucalipto mostraram ser dependentes de estágio da cultura e da tecnologia de aplicação utilizada.
- b) Independentemente da concentração (2 ou 3%), volumes de 40,78 e 51,41  $\mu\text{L}$  de calda de glyphosate.planta<sup>-1</sup> aplicados no caule provocaram redução média de 50% na matéria seca de caule, folhas, altura e área foliar.
- c) No campo, em plantios recém estabelecidos (1 mês), doses de glyphosate a partir de 72 g e.a.ha<sup>-1</sup> provocam danos irreversíveis no crescimento do eucalipto.
- d) Dos 3 aos 7 meses após o plantio, apenas plantas que receberam doses acima de 144 g e.a.ha<sup>-1</sup> glyphosate tiveram redução de produtividade.
- e) Aos 9 meses após o plantio, não houve efeito das aplicações de glyphosate, em doses de até 432 g e.a.ha<sup>-1</sup> na produção do eucalipto.
- f) Não houve efeito de doses de glyphosate aplicadas sobre as plantas de eucalipto até os 9 meses após o plantio, sobre o cozimento da madeira.
- g) Não houve efeito de doses de glyphosate aplicadas sobre as plantas de eucalipto aos 5 meses após o plantio no teor de lignina, holocelulose e densidade básica da madeira.
- h) O glyphosate reduziu o teor de extrativos na biomassa do eucalipto.
- i) As doses que reduziram o crescimento e produtividade são compatíveis com as que podem alcançar a cultura por deriva, justificando o extremo cuidado na realização de aplicações em jato dirigido na cultura.

## 6 REFERÊNCIAS

ABRAF. Associação Brasileira de Produtos de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico**: ano base 2008. Brasília, 2009. 120 p.

ALENCAR, G. S. B. **Estudo da qualidade da madeira para produção de polpa celulósica relacionada à precocidade na seleção de um Híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***. 2002. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

ALTMAN, J.; CAMPBELL, C. L. Effect of herbicides on plant diseases. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v.15, p. 361-385, 1977.

ALVES, P. L. C. A. **Estudo das propriedades alelopáticas de espécies de *Eucalyptus* spp e sua potencialidade no manejo de plantas daninhas**: relatório. Jaboticabal: FUNEP, 1992.

AMARAL, A. S.; PINTO, J. J. O. Controle de plantas daninhas. In: PESKE, S. T. (Ed). **Produção de arroz**. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária-UFPel, 1998. p. 209-276.

AMARANTE JUNIOR, O. P; SANTOS, T. C. R. Glyphosate: propriedades, toxicidade, usos e legislação. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 4, p. 589-593, 2002.

ATB - Agricultural Training Board. **Boom sprayer handbook**. Farnham Royal: British Crop Protection Council, 1991. 58p.

BAKER, E. A. Chemistry and morphology of plant epicuticular waxes. In: CUTLER, D. F.; ALVIN, K. L.; PRICE, C. E. (Ed.). **The plant cuticle**. London : Academic Press, 1982. p. 140-161.

BLANCO, H. G. A importância dos estudos ecológicos nos programas de controle das plantas daninhas. **O Biológico**, São Paulo, v. 38, n. 10, p. 343-350, 1972.

BECERRIL, J. M.; DUKE, S. O.; LYDON, J. Glyphosate effects on shikimate pathway products in leaves and flowers of velvetleaf (*Abutilon theophrastic* Medic.). **Phytochemistry**, St Paul, v. 28, p.695-699, 1989.

BINKLEY, D.; STAPE, J. L.; RYAN, M. G.; BARNAND, H. Age-related decline in forest ecosystem growth: an individual-tree, stand-structure hypothesis. **Ecosystems**, New York, v. 5, p. 58-67, 2002.

BLANCO, H. G. A importância dos estudos ecológicos nos programas de controle de plantas daninhas. **O Biológico**, São Paulo, v. 38, p. 343-350, 1972.

BODE, L. E. Downwind drift deposits by ground applications. In: PESTICIDE DRIFT MANAGEMENT SYPOSIUM, 1984, Brookings, SD. **Proceedings...** Brookings, SD: South Dakota University. 1984. p. 49-52.

BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel. **Setor de celulose e papel:** BCP-RM17/DEST. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas/pdf/booklet/junho2009.pdf>>. Acesso em: 31 maio 2010.

CAO, K. F. Leaf anatomy and chlorophyll content of 12 woody species in contrasting light conditions in a Bornean heath forest. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 78, n. 10, p. 1245-1253, 2000.



CARBONARI, C. A.; MESCHEDE, D. K.; VELINI, E. D.; GUERRINI, I. A. Acúmulo de fósforo em plantas de eucalipto de diferentes doses de glyphosate. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GLYPHOSATE, 1., 2007, Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, 2007a. v. 1, p. 76-78.

CARBONARI, C. A.; MESCHEDE, D. K.; VELINI, E. D. Efeitos da aplicação de glyphosate no crescimento inicial de mudas de eucalipto submetidas a dois níveis de adubação fosfatada. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GLYPHOSATE, 1., 2007, Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, 2007b, v. 1, p. 68-70.

CASELEY, J. C.; COUPLAND, D. Environmental and plant factors affecting glyphosate uptake, movement and activity, In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D. (Ed.). **The herbicide glyphosate**. London:Marcel Dekker, 1985. p. 92-123.

CASTRO, P. R. C. **Princípios da adubação foliar**. Jaboticabal: Funep, 2009, 42 p.

CASTRO, P. R. C. et al. **Manual de fisiologia vegetal: teoria e prática**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2005, 651 p.

CATANEO, A. C.; DESTRO, G. F. G.; FERREIRA, L. C.; CHMMA, H. L.; SOUSA, D. C. F. Atividade da glutathione S-transferase na degradação do herbicida glyphosate em plantas de milho (*Zea mays*). **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 307-312, 2003.

CHACHALIS, D. et al. Characterization of leaf surface, wax composition, and control of redvine and trumpetcreeper with glyphosate. **Weed Science**, Champaign, n. 3, v. 49, p. 156-163, 2001.

COLE, D. Detoxification and activation of agrochemicals in plants. **Pest Management Science**, Sussex, n. 3, v. 42, p. 209-222, 1994. Disponível em: <http://dx.doi.org>. DOI:10.1002/ps.2780420309.

COSTA, A.G.F. **Efeitos da densidade de plantas de *Spermacoce latifolia* Aubl. e de *Commelina benghalensis* L. sobre o crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.** 1999. 56 f. Monografia - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1999.

COUPLAND, D. Metabolism of glyphosate in plants. In: GROSSBARD E.; ATKINSON, D. A.(Ed.). **The herbicide glyphosate.** London: Butterworths, 1985. p. 25-34.

COUTINHO, C. F. B.; MAZO, L. H. Complexos metálicos com o herbicida glifosato: revisão. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 6, p. 1038-1045, 2005.

CUNHA, J. P. A. R. Simulação da deriva de agrotóxicos em diferentes condições de pulverização. **Ciência Agrotec.**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1616-1621, 2008.

D'ANIERI, P. et al. Glyphosate translocation and efficacy relationships in red maple, sweet gum and loblolly pine seedlings. **Forest Science**, v. 36, p. 438-447, 1990.

DEMUNER, B. J.; VIANNA DORIA, E. L.; CLAUDIO-DA-SILVA JUNIOR, E.; MANFREDI, V. As propriedades do papel e as características das fibras de eucalipto. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL, 25., 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 1992. p.161-177.

DEVINE, M. D.; DUKE, S. O.; FEDTKE, C. **Physiology of herbicide action**. New Jersey: P T R Prentice Hall Englewood Cliffs, 1993. 441 p.

DUKE, S. O.; HOAGLAND, R. E. Effects of glyphosate on metabolism of phenolic compounds. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D. **The herbicide glyphosate**. London: Butterworth. 1985. cap. 6, p. 92-124.

DUKE, S. O.; CERDEIRA, A. L.; MATALLO, M. B. Uso de herbicidas e seus efeitos em doenças vegetais. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 1, n. 115, p. 1-4, 2006.

DUKE, S. O.; CEDERGREEN, N.; VELINE, E. D.; BELZ, R. Hormesis and phytotoxins: hormesis: is it an important factor in herbicide use and allelopathy. **Outlooks on Pest Management**, p. 29-33, 2006. Disponível em: <<http://www.dose-response.org/news/Hormesis-review.pdf>>. Acesso em: 03 abr. 2010.

ELLIS, J. M.; GRIFFIN, J. L. Soybean (*Glycine max*) and cotton (*Gossypium hirsutum*) response to simulated drift of glyphosate and glufosinate. **Weed Technology**, v. 16, p. 580-586, 2002.

ERICKSON, C. G.; DUKE, W. B. The effect of glyphosate and surfactant concentrations on penetration and translocation in quack grass. **Proc. Northeast. Weed Science**. v 35, p. 52, 1981.

FENG, P. C. C.; BALEY, G. J.; CLINTON, W. P.; BUNKERS, G. J.; ALIBHAI, M. F.; PAULITZ, T. C.; KIDWELL, K. K. Glyphosate inhibits rust diseases in glyphosate-resistant wheat and soybean. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 102, p. 17290-17295, 2005.

FLORES, D. M. M. **Variação das características dendrométricas, da qualidade da madeira e da celulose entre árvores de um clone de *Eucalyptus saligna* SMITH.** 1999. 88f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1999.

FOELKEL, C. E. B.; MOURA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. **O Papel**, p. 35-40, maio, 1992.

FONSECA, L. B.; CAMPOSILVAN, D. Herbicida de translocação e técnicas de aplicação. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 4, n. 12, p. 69-76, 1987.

FRADINHO, D. M. et al. Chemical characterization of bark and of alkaline bark extracts from maritime pine grown in Portugal. **Industrial Crops and Products**, v. 16, p. 23-32, 2002.

FRANZ, J. E.; MAO, M. K.; SIKORSKI, J. A. **Glyphosate**: a unique global herbicide. Washington: ACS, 1997. 653 p.

GARAU, A. M.; GHERSA, C. M.; LEMCOFF, J. H.; BARAÑAO, J. J. Weeds in *Eucalyptus globulus* subsp. *maidenii* (F. Muell) establishment: effects of competition on sapling growth and survivorship. **New Forests**. v. 37, p. 251–264, 2009.

GIL, Y.; SINFORT, C. Emission of pesticides to the air during sprayer application: a bibliographic review. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 39, p. 5183-5193, 2005.

GLASS, R. L. Adsorption of glyphosate by soils and clay minerals. **Journal of the Agricultural and Food Chemistry**, v. 35, p. 497-500, 1987.

GRAVENA, R. **Respostas bioquímicas e fisiológicas de plantas de citros atingidas pelo glyphosate**. 2006. 144 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

GRAVENA, R. et al. Low glyphosate rates do not affect *Citrus limonia* (L.) Osbeck seedlings. **Pest Management. Science**, v. 65, n. 4, p. 420-425, 2009.

HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. **Eucalyptus for wood production**. Melbourne: CSIRO, 1978. 434 p.

JUSTO, C. F. et al. Plasticidade anatômica das folhas de *Xylopia brasiliensis* Sprengel (Annonaceae). **Acta Bot. Bras.**, v. 19, p. 112-123, 2005.

KOGAN, M. A. **Malezas, ecofisiologia y estratégias de control**. Santiago: Pontificia Universidad Católica, 1992, p. 402.

LIU, L.; PUNJA, Z. K.; RAHE, J. E. Altered root exudation and suppression of induced lignification as mechanism of predisposition by glyphosate of bean roots (*Phaseolus vulgaris* L.) to colonization by *Pythium* spp. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 51, p. 111-127, 1997.

MACHADO, A. F. L. **Tolerância de genótipos de eucalipto ao glyphosate**. 2009. 65 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

MAGALHÃES, P. C.; SILVA, J. B.; DURÃES, F. O. M. Efeito de doses reduzidas de glyphosate e paraquat simulando deriva na cultura do sorgo. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 19, n. 2, p. 255-262, 2001.

MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: FUNEP, 1990. 139 p.

MESCHEDE, D. K.; CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D. Efeito de subdoses de glyphosate sobre o crescimento e desenvolvimento de *Commelia benghalensis*. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GLYPHOSATE, 1., 2007a, Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, 2007. v. 1, p. 65-67.

MESCHEDE, D. K.; VELINI, E. D.; CARBONARI, C. A.; CORRÊA, M. R. Determinação do teor de lignina e celulose em amostras de *Brachiaria decumbens* submetidas à subdose de glyphosate. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GLYPHOSATE, 1., 2007, Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, 2007b. v.1, p.82-84.

MESCHEDE, D. K.; CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D. Determinação no teor de lignina no processo de maturação e crescimento da cana-de-açúcar submetida a aplicações de inibidores de crescimento. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GLYPHOSATE, 1., 2007, Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, 2007c. v. 1, p. 65-67.

MILLER, D. K. et al. Response of nonglyphosate resistant cotton to reduced rates of glyphosate. **Weed Science**, v. 52, p. 178-182, 2004.

MONQUERO, P. A. et al. Absorção, translocação e metabolismo do glyphosate por plantas tolerantes e susceptíveis a estes herbicidas. **Planta Daninha**, v. 22, n. 3, p. 123-132, 2004.

MOORE, R.; EVANS, M. L. How roots perceive and respond to gravity. **American Journal of Botany**, v. 73, n. 4, p. 574-587, 1986.

PASCHOLATI, S. F.; LEITE, B. Hospedeiro: mecanismos de resistência. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia**. São Paulo: Ceres, 1995. p. 417-452.

PHILIPP, P.; D'ALMEIDA, M. L. O. **Celulose e papel**: tecnologia de fabricação da pasta celulósica. 2. ed. São Paulo: IPT, 1988. 964 p.

PITELLI, R. A. Competição e controle de plantas daninhas em áreas agrícolas. **IPEF**, v. 4, n. 12, p. 25-35, 1987.

PITELLI, R. A.; DURIGAN, J. C. Terminologia para períodos de controle e de convivência das plantas daninhas em culturas anuais e bianuais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 15., 1984, Belo Horizonte. **Resumos...** p. 37.

PITELLI, R. A.; KARAM, D. Ecologia de plantas daninhas e sua interferência em culturas florestais. In: SEMINÁRIO TÉCNICO SOBRE HERBICIDAS EM REFLORESTAMENTOS, 1., 1988, Rio de Janeiro. **Anais...** p. 44-64.

PITELLI, R. A.; MARCHI, S. R. Interferência das plantas invasoras nas áreas de reflorestamento. In: SEMINÁRIO TÉCNICO SOBRE PLANTAS DANINHAS E O USO DE HERBICIDAS EM REFLORESTAMENTO, 1., 1991, Rio de Janeiro. **Anais...** p. 110-23.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 5. ed. Londrina: IAPAR, 2005. 591 p.

RODRIGUES, J. D. Fisiologia vegetal e sua importância na tecnologia de aplicação de defensivos. **Biológico**, v. 65, n. 1/2, p. 59-61, 2003.

ROSS, J.; O'NEIL, D. New interactions between classical plant hormones. **Trends in Plant Science**, v. 6, p. 21, 2001.

SACON, V.; WEISSHEIMER, C. A. Metodologia de lignina simplificada. **Nota Técnica**: Riocell, n.1481, p.6, 1996.

SANDBERG, C. L.; MEGGITT, W. F.; PENNER, D. Absorption, translocation and metabolism of  $^{14}\text{C}$ -glyphosate in several weed species. **Weed Research**, v. 20, p. 195-200, 1980.

SANTOS, C. R. **Métodos não-convencionais para determinação de celulose como parâmetro de seleção de árvores matrizes visando a produção de polpa Kraft-AQ**. 2000. 117 f. Dissertação (Mestrado Ciências Florestais). Universidade Superior de Agricultura "Luiz de Queiros", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2000.

SATICHIVI, N. M. et al. Absorption and translocation of glyphosate isopropylamine and trimethylsulfonium salts in *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi*. **Weed Science**, v. 48, p. 675-679, 2000.

SCHABENBERGER, O.; KELLS, J. J.; PENNER, D. Statistical test for hormesis and effective dosage in herbicide dose-response. **Agronomy Journal, Madison**, v. 91, p. 713-721, 1999.

SCHÖNHERR, J. A mechanistic analysis of penetration of glyphosate salts across stomatous cuticular membranes. **Pest Management Science**, v. 58, n. 4, p. 343-351, 2002.



SCHRODER, E.P. et al. Avaliação de pulverizações aéreas dos herbicidas sulfosate e glyphosate. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22., 2000, Foz do Iguaçu, **Resumos...** Foz do Iguaçu, PR: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas daninhas, 2000. p. 478.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** 1990. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

SILVA, C. R. **Efeito do espaçamento e arranjo de plantio na produtividade e uniformidade de clones de *Eucalyptus* na região nordeste do Estado de São Paulo.** Piracicaba, 2005. 51 f. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SILVA, W. et al. Índice de consumo e eficiência do uso da água em eucalipto, submetido a diferentes teores de água em convivência com braquiária. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 34, n. 3, p. 325-335, 2004.

SINDAG. Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola **Dados de mercado.** Disponível em: <<http://www.sindag.com.br/>>. Acesso em: 03 abr. 2009.

SMOOK, G. A. **Handbook for pulp & paper technologists.** Vancouver: Angus Wide Publications, 1994, 419 p.

SOARES et al. Utilização de glyphosate para o controle de ferrugem da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 4, 2008.

STAHLMAN, P. W.; PHILLIPS, W. M. Effects of water quality and spray volume on glyphosate phytotoxicity. **Weed Science**, Champaign, v. 27, n. 1, p. 38-41, 1979.

STAPE, J. L. Espaçamento de plantio e dominância entre árvores. In: **REUNIÃO TÉCNICA DO PROGRAMA TEMÁTICO EM SILVICULTURA E MANEJO PTSM**, 22., 2004, Telêmaco Borba, p.16-22.

SUMNER, P. E. **Reducing spray drift**. Georgia: University of Georgia, 1997. 11 p. (ENG97-005).

SUMNER, P. E.; SUMNER, S. A. **Comparison of new drift reduction nozzles**. St. Joseph: ASAE, 1999. 17 p. (Paper, 99-1156).

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: ARTMED, 2004. 750 p.

TAKAHASHI, E. N. et al. Conseqüências da deriva de clomazone e sulfentrazone em clones de *E. grandis* x *E. urophylla*. **Revista Árvore**, v. 33, n. 4, p. 675-683, 2009.

TAPPI – Technical associaton of the pulp and paper industry., 1999. **Test methods 1998-1999**. Atlanta, 1999. (CD-ROM).

TAROUCO, C. P.; AGOSTINETTO, D.; PANOZZO, L. E. SANTOS, L. S.; VIGNOLO, G. K.; RAMOS, L. O. O. Períodos de interferência de plantas daninhas na fase inicial de crescimento do eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 9, p. 1131-1137, 2009.

TOLEDO, R. E. B. **Efeitos da faixa de controle e dos períodos de controle e de convivência de *Brachiaria decumbens* Stapf. no desenvolvimento inicial de plantas de *Eucalyptus urograndis***. Piracicaba, 1998. 77 f. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

TOLEDO, R. E. B. de. **Faixas e períodos de controle de plantas daninhas e seus reflexos no crescimento de eucalipto**. 2002. 130 f. Tese (Doutorado), Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

TOLEDO, R. E. B.; VICTÓRIA FILHO, R.; ALVES, P. L. C. A.; PITELLI, R. A.; LOPES, M. A. F. Faixas de controle de plantas daninhas e seus reflexos no crescimento de plantas de eucalipto. **Scientia Florestalis**, v. 64, p. 78-92, 2003.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, v. 2, n. 1, p. 04-111, 1996.

TSAI, M.; ELGETHUN, K.; RAMAPRASAD, J.; YOST, M. G.; FELSOT, A. S.; HEBERT, V. R.; FENSKE, R. A. The Washington aerial spray drift study: modeling pesticide spray drift deposition from an aerial application. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 39, p. 6194-6203, 2005.

TUFFI SANTOS, L. D. et al. Crescimento e morfoanatomia foliar de eucalipto sob efeito de deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 133-142, 2005.

TUFFI SANTOS, L. D.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; DUARTE, W .M.; TIBURCIO, R. A. S.; SANTOS, M. V. Intoxicação de espécies de eucalipto submetidas a deriva de glyphosate. **Planta Daninha**, v.24, n.2, p.359-364, 2006.

TUFFI SANTOS, L. D. et al. Morphological responses of different eucalypt clones submitted to glyphosate drift. **Environmental and Experimental. Botany**, v. 59, p.11-20, 2007.

TUFFI SANTOS, L. D. et al. Danos visuais e anatômicos causados pelo glyphosate em folhas de *Eucalyptus grandis*. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p. 9-16, 2008.

UOTILA, M.; GULLNER, G.; KÖMIVES, T. Induction of glutathione S-transferase activity and glutathione level in plants exposed to glyphosate. **Physiology Plant.**, v.93, p.689-694, 1995.

VELINI, E. D. et al. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. **Pest Management Science**, v. 64, n. 4, p. 489-496, 2008.

VELINI, E. D. et al. **Glyphosate**. Botucatu: FEPAF, 2009. 496 p.

VIEIRA, R. G. et al. Fitointoxicação por herbicidas em áreas de reflorestamento de teca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 25., 2006, Brasília. **Resumos...** Brasília: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2006. p. 450.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG: SIF, 1984. 21 p. (Boletim Técnico, 1).

WAGNER, R.; KOGAN, M.; PARADA, A. M. Phytotoxic activity of root absorbed glyphosate in corn seedlings (*Zea mays* L.). **Weed Biology Management**, v. 3, p. 228-32, 2003.

WEHR, T. R. **Variações nas características da madeira de *Eucalyptus grandis* HILL Ex Maiden e suas influências na qualidade de cavacos em cozimentos kraft**. 1991. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

WEHR, T. R.; BARRICHELO, L. E. G. Cozimento kraft com madeira de *Eucalyptus grandis* de diferentes densidades básicas e dimensões de cavacos. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL, 25., 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 1992. p.161-177.

WOLF, R. E. **Strategies to reduce spray drift**. Kansas: Kansas State University, 2000. 4 p. (Application Technology Series).

YAMADA, T.; CASTRO, P.R.C. Efeitos do glyphosate nas plantas: implicações fisiológicas e agrônômicas. **Informações Agrônômicas**, Piracicaba, v. 119, p. 1-24, 2007.

YAMASHITA, O. M.; GUIMARÃES, S. C. Resposta de cultivares de algodoeiro a subdoses de glyphosate. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 627-633, 2005.

YAMASHITA, O. M., BETONI, J. R., GUIMARÃES, S. C., ESPINOSA, M. M. Glyphosate e 2,4D em espécies florestais. **Science Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 359-366, 2009.

ZHU, H.; REICHARD, D. L.; FOX, R. D.; BRAZEE, R. D.; OZKAN, H. E. Simulation of drift of discrete sizes of water droplets from field sprayers. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 37, n. 5, p. 1401-1407, 1994.