

Acúmulo diferencial de massa seca em eucalipto e pinus expostos a glyphosate

Differential dry mass accumulation in eucalypt and pine exposed to glyphosate

Natálye Ramos da Silva, Flávia Regina da Costa e Leonardo Bianco de Carvalho*

Recebido em 18/11/2014 / Aceito para publicação em 16/12/2014.

RESUMO

O controle de plantas daninhas na linha de plantio com o uso de glyphosate é comum em áreas de florestamento de eucalipto e pinus, mas pode expor a cultura de interesse à deriva do herbicida e causar impacto sobre o crescimento inicial das mudas. O objetivo foi avaliar, comparativamente, a massa seca de plantas de pinus e eucalipto sob doses de glyphosate e verificar a ocorrência de hormese. Em plantas recém transplantadas, o herbicida glyphosate foi aplicado em doses variando de 0 a 720 g e.a. ha⁻¹ e foi avaliada a massa seca do caule, das folhas e da parte aérea aos 30 dias após a aplicação. Pinus apresentou menor susceptibilidade para massa seca do caule (com ocorrência de hormese), enquanto eucalipto, para massa seca de folhas (com ocorrência de hormese). Pinus e eucalipto, respectivamente, apresentaram hormese de 4,1% e 4,8% para massa seca da parte aérea em doses de 8 g e.a. ha⁻¹ e 11 g e.a. ha⁻¹; a dose requerida para reduzir a massa seca em 50% foi de 75 g e.a. ha⁻¹ e 108 g e.a. ha⁻¹ e a redução da massa seca foi de 57% e 69% (com morte das plantas) quando expostas a dose de 720 g e.a. ha⁻¹, respectivamente para pinus e eucalipto. Pinus é mais susceptível ao glyphosate que eucalipto.

PALAVRAS-CHAVE: *Eucalyptus urograndis*, *Pinus taeda*, N-(fosfonometil) glicina, dose-resposta.

ABSTRACT

The weed control onto planting line by using glyphosate is commonly used in forestry areas of eucalyptus and pine; however it can expose the crop of interest to herbicide drift and cause impact on the initial growth of plantlets. The objective was to evaluate comparatively the dry mass of eucalyptus and pine plants exposed to doses of glyphosate and to

verify the occurrence of hormesis. In early transplanted plants, glyphosate herbicide was sprayed at doses varying from 0 up to 720 g ae ha⁻¹, and the dry mass of stem, leaves, and shoot were evaluated at 30 days after spraying. Pine showed less susceptibility for dry mass of stem (occurring hormesis), while eucalyptus showed less susceptibility for dry mass of leaves (occurring hormesis). Hormesis occurred in pine and eucalyptus shoots at doses of 8 g ae ha⁻¹ (4.1%) and 11 g ae ha⁻¹ (4.8%), respectively; the dose required to reduce shoot dry mass by 50% was 75 g ae ha⁻¹ and 108 ae ha⁻¹, and the reduction of shoot dry mass was 57% and 69% (with plant death) when plants were exposed to glyphosate at 720 g ae ha⁻¹, respectively for pine and eucalyptus. Pine is more susceptible to glyphosate than eucalyptus.

KEYWORDS: *Eucalyptus urograndis*, *Pinus taeda*, N-(phosphonomethyl) glycine, dose-response.

O manejo de plantas daninhas em espécies perenes, incluindo pinus (*Pinus* spp.) e eucalipto (*Eucalyptus* spp.), é comumente feito com roçadas na entrelinha associadas à aplicação de herbicidas na linha de plantio (CARVALHO et al. 2013), o que causa risco de deriva do herbicida sobre plantas da cultura, acarretando prejuízos a seu crescimento, desenvolvimento e produção. Nesse sistema de manejo, o herbicida mais utilizado é o glyphosate, que não é seletivo às culturas e pode, assim, causar injúrias severas e redução no crescimento ou mesmo morte de plantas caso doses letais atinjam-nas.

A exposição a baixas doses de glyphosate, no caso de ocorrência de deriva, também pode acarretar ocorrência de hormese (estímulo ao crescimento por baixas doses de um agente inibidor), fenômeno observado em eucalipto (VELINI et al. 2008, PEREIRA et al. 2013) e que pode ocorrer em pinus com intensidade diferentes, como verificado por VELINI et

Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, Brasil.

*Autor para correspondência <leonardo.carvalho@udesc.br>.

al. (2008). O objetivo foi avaliar, comparativamente, a massa seca de plantas de pinus e eucalipto sob doses de glyphosate e verificar a ocorrência de hormese.

Plantas jovens de eucalipto (*Eucalyptus urograndis*, clone Fibria I144) e pinus (*Pinus taeda*, clone Klabin s/n) foram cultivadas de outubro (transplante) a dezembro (coleta dos dados) de 2012, em vasos de 5 L preenchidos com mistura de terra e substrato orgânico na proporção 2:1 (v:v). Em média, plantas de eucalipto apresentavam, no momento do transplante, 6 folhas expandidas e altura de 38 cm, enquanto plantas de pinus apresentavam 32 cm de altura e estavam com boa folhagem (o número de folhas não foi contado em virtude do tipo de folha da espécie).

Após 28 dias do transplante (período total de estabelecimento das mudas no vaso, em que folhas novas começaram a ser emitidas), foi realizada a aplicação de glyphosate (sal de isopropilamina, 360 g e.a. L⁻¹) nas doses 0, 18, 36, 72, 180, 360 e 720 g e.a. ha⁻¹, utilizando-se de pulverizador costal pressurizado a CO₂, com pressão de 200 kPa, munido de barra de pulverização contendo quatro pontas tipo leque TeeJet 80.02 VS e calibrado para volume de calda de 200 L ha⁻¹. Os tratamentos foram compostos pelas duas espécies e pelas sete doses de herbicida (esquema fatorial 2x7), utilizando delineamento experimental inteiramente casualizado com seis repetições.

No plantio, aplicaram-se 2 g de NPK (formulação 5-20-10) e 3 g de ureia por vaso, sendo efetuada irrigação diária do substrato com 150 mL de água. As plantas foram mantidas em casa de vegetação por 30 dias após a aplicação do herbicida, quando foram cortadas rente ao solo, separadas em caule e folhas, acondicionadas em sacos de papel e postas a secar em estufa a 65 °C por uma semana. O material seco foi pesado em balança semi-analítica (0,01 g) para determinação da massa seca.

Os dados foram submetidos à análise de regressão segundo os modelos abaixo. Exponencial de três parâmetros:

$$y = y_0 + a \cdot \exp(-b \cdot x)$$

Weibull de cinco parâmetros:

$$y = y_0 + a \left[\frac{(c-1)}{c} \right]^{[(1-c)/c] \cdot \left\{ \left[\frac{(x-x_0)}{b} \right] + \left[\frac{(c-1)}{c} \right]^{(1/c)} \right\}^{(c-1)}} \cdot \exp \left\{ - \left[\frac{(x-x_0)}{b} \right] + \left[\frac{(c-1)}{c} \right]^{(1/c)} \right\}^c + \left[\frac{(c-1)}{c} \right]$$

Com base nos parâmetros dessas equações,

foram estimados os valores da dose requerida para reduzir a massa seca em 50% (GR50). Para a equação exponencial, a GR50 foi representada pelo valor de x_0 quando y foi 50%; enquanto na equação de Weibull, o parâmetro b indicou a GR50. Além disso, para a equação de Weibull, foi estimada a dose que promoveu maior hormese, indicada pelo parâmetro x_0 .

Plantas de eucalipto e pinus apresentaram resposta diferencial quando expostas a doses crescentes de glyphosate (Figura 1). Para massa seca do caule, plantas de pinus apresentaram menor susceptibilidade em doses baixas (< 200 g e.a. ha⁻¹), enquanto em doses mais altas plantas de eucalipto foram pouco menos susceptíveis. Para massa seca do caule, plantas de eucalipto não apresentaram hormese, ao contrário do que ocorreu com plantas de pinus (Figura 1 e Tabela 1), sendo que a hormese (8,3%) na massa seca do caule foi observada em doses próximas a 20 g e.a. ha⁻¹ (Tabela 1). A dose requerida para reduzir a massa seca do caule em 50% foi de 72 g e.a. ha⁻¹ e 120 g e.a. ha⁻¹, respectivamente para eucalipto e pinus, indicando que caule de plantas de pinus suportou dose cerca de 1,7 vez maior que de as plantas de eucalipto. No entanto, a redução final de massa seca no caule foi de 52% e 53% para eucalipto e pinus, respectivamente, portanto semelhante entre as espécies, quando expostas a doses de 720 g e.a. ha⁻¹.

Para massa seca das folhas, plantas de eucalipto apresentaram menor susceptibilidade em todas as doses testadas (Figura 1). Plantas de pinus não apresentaram hormese, ao contrário do que ocorreu com plantas de eucalipto (Figura 1 e Tabela 1), sendo que a hormese (8,1%) na massa seca de folhas foi observada em doses próximas a 16 g e.a. ha⁻¹ (Tabela 1). A dose requerida para reduzir a massa seca de folhas em 50% foi de 44 g e.a. ha⁻¹ e 122 g e.a. ha⁻¹, respectivamente para pinus e eucalipto, indicando que folhas de plantas de eucalipto suportaram dose cerca de 2,8 vezes maior que as das plantas de pinus. No entanto, a redução final de massa seca de folhas foi de 61% e 81% para eucalipto e pinus, respectivamente, portanto diferente entre as espécies, quando expostas a doses de 720 g e.a. ha⁻¹.

Para massa seca da parte aérea, plantas de eucalipto apresentaram menor susceptibilidade em doses maiores que 20 g e.a. ha⁻¹ (Figura 1). Plantas das duas espécies apresentaram hormese (Figura 1 e Tabela 1), sendo que a hormese (4,1% e 4,8% para pinus e eucalipto, respectivamente) na massa seca da

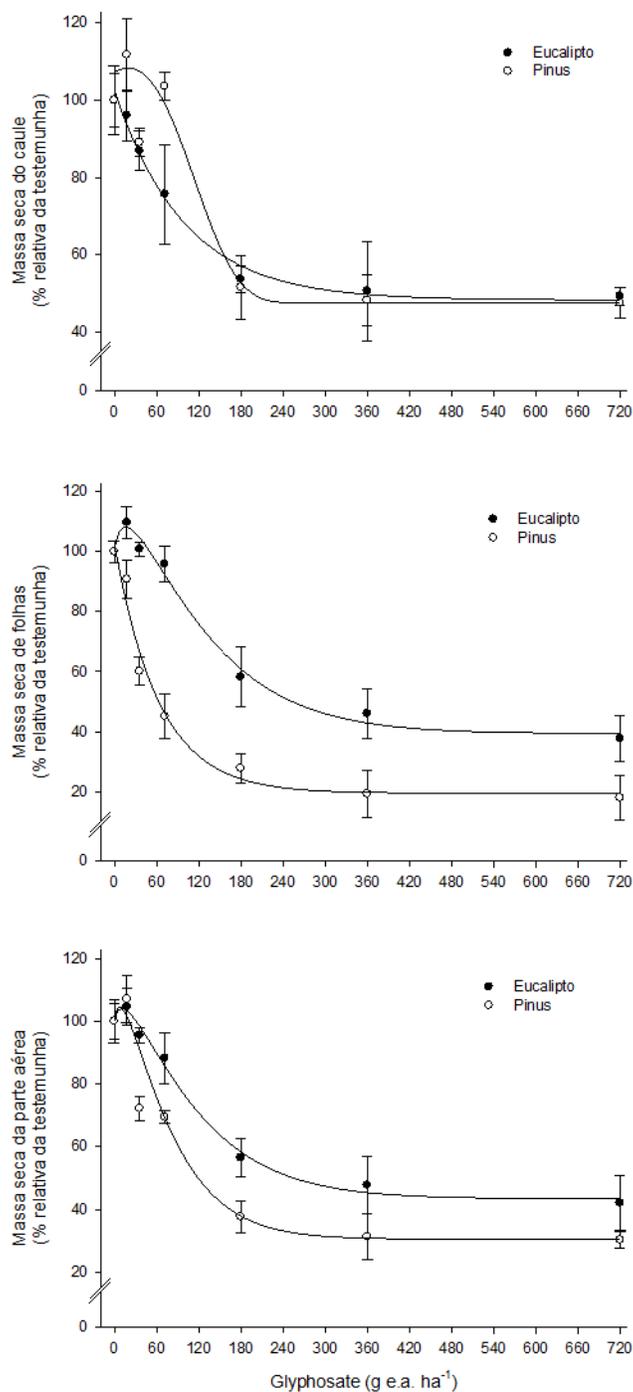


Figura 1. Curvas de dose-resposta da massa seca de caule, folhas e parte aérea de eucalipto e pinus submetidos à aplicação de doses de glyphosate (sal de isopropilamina).

Figure 1. Dose-response curves of dry mass of stem, leaves, and shoot of eucalyptus and pine plants exposed to doses of glyphosate (isopropylamine salt).

Tabela 1. Tipo de equação, coeficiente de determinação ajustado (R^2), hormese e dose requerida para reduzir a massa seca em 50% (GR50) estimados de acordo com os resultados da análise de regressão para massa seca de caule, folhas e parte aérea de eucalipto e pinus submetidos à aplicação de doses de glyphosate (sal de isopropilamina).

Table 1. Equation type, adjusted coefficient of determination (R^2), hermetic effect, and dose required to reduce dry mass by 50% (GR50) estimated with basis on the results of regression analysis for dry mass of stem, leaves, and eucalyptus and pine shoots exposed to doses of glyphosate (isopropylamine salt).

Cultura	Parte	Equação ¹	R^2 ²	Hormese ³		GR50 (g e.a. ha ⁻¹)
				Dose (g e.a. ha ⁻¹)	%	
Eucalipto	Caule	Exponencial	0,99**	NO	NO	72
	Folhas	Weibull	0,99**	16	8,1	122
	Parte aérea	Weibull	0,99**	11	4,8	108
Pinus	Caule	Weibull	0,86*	20	8,3	120
	Folhas	Exponencial	0,98**	NO	NO	44
	Parte aérea	Weibull	0,99**	8	4,1	75

¹ Equação exponencial: $y = y_0 + a \cdot \exp(-b \cdot x)$

Equação de Weibull: $y = y_0 + a \left[\frac{(c-1)/c}{1 - [(x-x_0)/b] + [(c-1)/c]^{1/c}} \right]^{c-1} \exp \left\{ - \left[\frac{(x-x_0)/b}{1 - [(c-1)/c]^{1/c}} \right]^c + \frac{(c-1)/c}{1 - [(c-1)/c]^{1/c}} \right\}$

² ** e * indicam significância de 5% e 1% pelo teste F, respectivamente.

³ NO indica hormese não observada.

parte aérea foi observada em doses próximas a 8 g e.a. ha⁻¹ e 11 g e.a. ha⁻¹, respectivamente para pinus e eucalipto (Tabela 1). A dose requerida para reduzir a massa seca de folhas em 50% foi de 75 g e.a. ha⁻¹ e 108 g e.a. ha⁻¹, respectivamente para pinus e eucalipto, indicando que a parte aérea de plantas de eucalipto suportou dose cerca de 1,5 vez maior que as das plantas de pinus. No entanto, a redução final de massa seca da parte aérea foi de 57% e 69% para eucalipto e pinus, respectivamente, portanto diferente entre as espécies, quando expostas a doses de 720 g e.a. ha⁻¹ (ressalta-se que plantas das duas espécies morreram quando expostas a essa dose).

A redução do crescimento de plantas expostas a glyphosate decorre da inibição da enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS), na via metabólica do chiquimato. Essa inibição resulta em redução na síntese dos aminoácidos aromáticos que são requeridos na síntese proteica (SIEHL 1997), assim como produtos derivados dessa via metabólica, como ácido indolacético, lignina e metabólitos secundários que atuam na defesa da planta (VELINI et al. 2010). A desregulação dessa via metabólica também causa carência de compostos necessários à fixação de carbono (SIEHL 1997), processo rapidamente inibido pela ação do herbicida (SERVAITES et al. 1987). No entanto, os mecanismos que acarretam hormese por

glyphosate não são totalmente conhecidos.

Estudos indicam que a hormese está ligada à inibição parcial da EPSPS por baixas doses de glyphosate (VELINI et al. 2008, CEDERGREEN & OLESEN 2010). Como a lignificação é inibida, mais carbono é particionado em sacarose (VELINI et al. 2008) ou a síntese de sacarose não é inibida em tecidos fonte devido às baixas doses de glyphosate. O aumento da fotossíntese e/ou redução da respiração também parecem influenciar a hormese (CEDERGREEN & OLESEN 2010). Portanto, não é um simples mecanismo fisiológico que poderia explicar a hormese observada em diversas espécies quando expostas ao glyphosate, além desse efeito ser dependente de condições de crescimento das plantas (CEDERGREEN & OLESEN 2010) e do estágio de crescimento das plantas quando expostas ao herbicida (CARVALHO et al. 2013).

Conclui-se que: (i) pinus é mais susceptível ao glyphosate que eucalipto; e (ii) ambas as espécies apresentam hormese da parte aérea quando expostas a glyphosate em doses próximas a 8 g e.a. ha⁻¹ e 11 g e.a. ha⁻¹, respectivamente para pinus e eucalipto.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão de bolsa de Doutorado à segunda autora.

REFERÊNCIAS

- CARVALHO LB et al. 2013. Hormesis with glyphosate depends on coffee growth stage. *Anais Acad Bras Ciênc* 85: 813-822.
- CEDERGREEN N & OLESEN CF. 2010. Can glyphosate stimulate photosynthesis? *Pest Biochem Physiol* 96: 140-148.
- PEREIRA FM et al. 2013. Response of eucalyptus (*Eucalyptus urograndis*) plants at different doses of glyphosate. *J Agric Sci* 5: 66-74.
- SERVAITES JC et al. 1987. Glyphosate effects on carbon assimilation, ribulose biphosphate carboxylase activity, and metabolite levels in sugar beet leaves. *Plant Physiol* 85: 370-374.
- SIEHL DL. 1997. Inhibitors of EPSPS synthase, glutamine synthetase and histidine synthesis. In: ROE RM et al. (Eds). *Herbicide activity: toxicology, biochemistry and molecular biology*. IOS Press: Amsterdam. p.37-67.
- VELINI ED et al. 2008. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. *Pest Manag Sci* 64: 489-496.
- VELINI ED et al. 2010. Growth regulation and other secondary effects of herbicides. *Weed Sci* 58: 351-354.