

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**MORFOLOGIA, FENOLOGIA E RESISTÊNCIA DE
Amaranthus spp**

Katia Trevizan

Passo Fundo

2020

Katia Trevizan

MORFOLOGIA, FENOLOGIA E RESISTÊNCIA DE *Amaranthus spp*

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção de título de Doutora em Agronomia.

Orientador:
Prof. Dr. Mauro Antônio Rizzardi

Passo Fundo

2020

CIP – Catalogação na Publicação

T814m Trevizan, Katia
Morfologia, fenologia e resistência de *Amaranthus spp* [recurso eletrônico] / Katia Trevizan. – 2020.
2.9 MB ; PDF.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Antônio Rizzardi.
Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, 2020.

1. Ervas daninhas – Resistência. 2. Ervas daninhas – Controle – Manejo. 3. *Amaranthus*. 4. Morfologia. 5. Fenologia I. Rizzardi, Mauro Antônio, orientador. II. Título.

CDU: 623.51

ATA DE DEFESA DE TESE



ATA 02/2020 DA DEFESA DE TESE DA CANDIDATA KATIA TREVIZAN DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PRODUÇÃO E PROTEÇÃO DE PLANTAS DA FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA DA UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO.

Aos vinte e seis dias do mês de maio de dois mil e vinte, às treze horas e trinta minutos, através de videoconferência (Portaria 36 Capes), sob a presidência do Prof. Dr. Mauro Antônio Rizzardi, em sessão pública, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa de Tese da candidata Katia Trevizan, do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Área de Concentração "Produção e Proteção de Plantas", constituída pelos doutores: Mauro Antônio Rizzardi (Orientador), Cristiano Roberto Buzatto, Leandro Galon, Ana Paula Rockembach e Anderson Luis Nunes, indicada pelo Conselho do Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Iniciados os trabalhos, a presidência deu conhecimento aos membros da comissão e a candidata das normas que regem a defesa de tese e definiu a ordem a ser seguida pelos examinadores para a arguição. A seguir, a candidata passou a apresentação e defesa da tese, intitulada "Morfologia, fenologia e resistência de *Amaranthus spp.*". Encerrada a defesa, a avaliação foi a seguinte: Mauro Antônio Rizzardi: APROVADA, Cristiano Roberto Buzatto: APROVADA, Leandro Galon: APROVADA, Ana Paula Rockembach: APROVADA e Anderson Nunes: APROVADA, tendo a candidata sido APROVADA. Para fazer jus ao título de "Doutora em Agronomia - Área de Concentração em Produção e Proteção de Plantas" é necessário que a candidata entregue, no prazo de 45 (quarenta e cinco) dias, a partir desta data, as cópias da versão definitiva da tese, na secretaria do programa, com as alterações sugeridas pelos membros da Comissão Examinadora, juntamente com o protocolo de um manuscrito enviado a uma revista científica qualificada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Nada mais havendo a tratar, lavrou-se a presente Ata, que vai assinada pelos membros da comissão examinadora, pelo Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Prof. Dr. Edson Campanhola Bortoluzzi, e pelo Diretor da FAMV, Prof. Dr. Eraldo Lourenso Zanella.

Dr. Mauro Antônio Rizzardi
Presidente da Comissão Examinadora
Orientador

Dra. Ana Paula Rockembach
Unideau

Dr. Cristiano Roberto Buzatto
UPF

Dr. Edson Campanhola Bortoluzzi
Coordenador do PPGAgro

Dr. Leandro Galon
UFFS

Dr. Eraldo Lourenso Zanella
Diretor da Faculdade de Agronomia e Medicina
Veterinária, Universidade de Passo Fundo

Dr. Anderson Nunes
IFRS

DEDICATÓRIA

A minha família, base de apoio e amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado proteção, saúde, força e equilíbrio emocional para superar as dificuldades e lutar por meus sonhos.

A minha família, Leonardo e Frodo pelo amor incondicional, sou grata por viver ao lado de vocês. Obrigada por me auxiliarem em momentos de adversidades e me abraçarem quando fraquejei. Sem vocês com certeza não teria atingido este objetivo.

Aos meus pais, Itacir e Divanilde, minhas irmãs Angela e Regina, obrigada pelas palavras de incentivo e apoio nesta caminhada.

Aos amigos que fiz ao longo desta jornada acadêmica, obrigada pela troca de ideias, conversas e risadas.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Mauro Antonio Rizzardi pelo suporte, pelas suas correções e incentivos. Obrigada pela paciência e compreensão.

Enfim, obrigada a todos que, de uma forma ou outra, foram importantes na caminhada até aqui. Com certeza, vocês são parte fundamental desta conquista.

A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.

(Albert Einstein)

RESUMO

TREVIZAN, Katia. Morfologia, fenologia e resistência de *Amaranthus* spp. [129] f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2020.

A utilização inadequada dos métodos de manejo de plantas daninhas tem ocasionado seleção de espécies resistentes a herbicidas. Dentre essas, esta o caruru com diversas espécies de *Amaranthus*: *A. viridis*; *A. lividus*; *A. spinosus*; *A. hybridus* e *A. retroflexus*. A população de indivíduos resistentes eleva-se em virtude das falhas de controle que permitem a frutificação e disseminação de sementes. Este estudo possui como objetivo geral caracterizar a morfologia e fenologia, bem como identificar se há formação de híbridos viáveis a partir do cruzamento intraespecíficos e interespecíficos de espécies de carurus. Parte-se da hipótese, que se há formação de híbridos viáveis a partir do cruzamento entre biótipos resistentes e suscetíveis ao imazetapir, em *Amaranthus* spp, então serão observados, na progênie, indivíduos resistentes e suscetíveis, quando forem polinizadas manualmente plantas de biótipos suscetíveis com pólen oriundo de plantas resistentes, sob condições controladas. Para tanto, iniciaram-se as pesquisas em 2017, com a coleta de sementes de distintos locais, a partir daí se conduziu uma série de experimentos em casa de vegetação e laboratório. Se testou a germinação e superação de dormência de sementes de *Amaranthus* spp; caracterização do desenvolvimento morfológico do sistema radicial de *Amaranthus* spp; descrição da morfologia e fenologia de espécies de *Amaranthus* spp; curvas de dose-resposta e a eficácia do herbicida imazetapir sobre as diferentes espécies de *Amaranthus*; transferência da resistência de *A. retroflexus* ao herbicida imazetapir mediante cruzamentos. Obteve-se como conclusões que: 1) ocorre a superação da dormência para *A. viridis* associando a falta de luz com escarificação mecânica; 2) *A. lividus* embebição prolongada e escarificação mecânica sem a presença de luz; 3) *A. spinosus* escarificação mecânica nas duas situações de luminosidade; *A. hybridus* não respondeu a nenhum dos tratamentos; *A. retroflexus* biótipo suscetível escarificação mecânica e embebição prolongada, associadas a falta de luz; *A. retroflexus* biótipo resistente embebição prolongada associado a presença de luz; A chave dicotômica de imagens auxílica o produtor a identificar as espécies de *Amaranthus* a nível de campo. O biótipo de *A. retroflexus* suscetível a imazetapir acumulou maior quantidade de massa seca, principalmente nas hastes e flores, seguido pelo *A. hybridus*, *A. spinosus*, *A. viridis*, *A. retroflexus* biótipo resistente e *A. lividus*. O sistema radicial do *A. spinosus* possui volume de raízes superior aos demais seguido pelo *A. retroflexus* biótipo suscetível \geq *A. hybridus* \geq *A. viridis* \geq *A. lividus* \geq *A. retroflexus* biótipo resistente. Existe variação de suscetibilidade entre as espécies de *Amaranthus*: *A. viridis*, *A. lividus*, *A. hybridus*, *A. spinosus* e *A. retroflexus*. O *Amaranthus viridis*, *A. lividus*, *A. hybridus*, *A. spinosus* e o biótipo de *A. retroflexus* oriundo de Passo Fundo são controlados eficientemente com o uso de doses inferiores à de registro. O biótipo de *A. retroflexus* oriundo de Lucas do Rio Verde - MT é resistente ao herbicida imazetapir. Não se obteve hibridação interespecífica entre as cinco espécies testadas. Entretanto se constatou hibridação intraespecífica entre os biótipos de *A. retroflexus*, então a hipótese levantada por este estudo não é verdadeira.

Palavras-chave: 1. Hibridação. 2. Resistência. 3. Acetolactato sintase. 4. Morfologia. 5. Herdabilidade.

ABSTRACT

TREVIZAN, Katia. Morphology, phenology and resistance of *Amaranthus* spp. [129] f. Thesis (Doctor in Agronomy) – University of Passo Fundo, Passo Fundo, 2020.

The inadequate use of weed management methods has led to the selection of herbicide resistant species. Among these, there is “caruru” with several species of *Amaranthus*: *A. viridis*; *A. lividus*; *A. spinosus*; *A. hybridus* and *A. retroflexus*. The population of resistant individuals rises due to the lack of control that allows the fruiting and dissemination of seeds. This study has as general objective to characterize the morphology and phenology, as well as to identify if there is formation of viable hybrids from the intraspecific and interspecific crossing of species of carurus. It is assumed that if there is formation of viable hybrids from the crossing between resistant and susceptible biotypes to imazetapir, in *Amaranthus* spp, then resistant and susceptible individuals will be observed in the progeny when susceptible biotype plants are manually pollinated with pollen from resistant plants, under controlled conditions. To this end, research began in 2017, with the collection of seeds from different locations, and from then on a series of experiments were conducted in a greenhouse and laboratory. Germination and dormancy of *Amaranthus* spp seeds were tested; characterization of the morphological development of the *Amaranthus* spp root system; description of the morphology and phenology of species of *Amaranthus* spp; dose-response curves and the effectiveness of the herbicide imazetapyr on different species of *Amaranthus*; transfer of resistance of *A. retroflexus* to the herbicide imazetapir by crosses. Conclusions were obtained that: 1) dormancy is overcome for *A. viridis* associating the lack of light with mechanical scarification; 2) *A. lividus* prolonged imbibition and mechanical scarification without the presence of light; 3) *A. spinosus* mechanical scarification in both light situations; *A. hybridus* did not respond to any of the treatments; *A. retroflexus* biotype susceptible to mechanical scarification and prolonged imbibition, associated with lack of light; *A. retroflexus* biotype resistant to prolonged imbibition associated with the presence of light; The dichotomous image key helps the producer to identify *Amaranthus* species at field level. The *A. retroflexus* biotype susceptible to imazetapyr accumulated a greater amount of dry mass, mainly in the stems and flowers, followed by *A. hybridus*, *A. spinosus*, *A. viridis*, *A. retroflexus* resistant biotype and *A. lividus*. The root system of *A. spinosus* has a higher root volume than the others followed by the susceptible *A. retroflexus* biotype \geq *A. hybridus* \geq *A. viridis* \geq *A. lividus* \geq *A. retroflexus* resistant biotype. There is a variation in susceptibility among *Amaranthus* species: *A. viridis*, *A. lividus*, *A. hybridus*, *A. spinosus* and *A. retroflexus*. *Amaranthus viridis*, *A. lividus*, *A. hybridus*, *A. spinosus* and the *A. retroflexus* biotype from Passo Fundo are efficiently controlled with lower doses than the registration. The biotype of *A. retroflexus* from Lucas do Rio Verde - MT is resistant to the herbicide imazetapyr. There was no interspecific hybridization between the five species tested. However, intraspecific hybridization was found among *A. retroflexus* biotypes, so the hypothesis raised by this study is not true.

Key words: 1. Hybridization. 2. Resistance. 3. Acetolactate synthase. 4. Morphology 5. Heritability.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DA LITERATURA	15
3	CAPÍTULO I	26
3.1	<i>Resumo</i>	26
3.2	<i>Introdução</i>	26
3.3	<i>Material e Métodos</i>	28
3.3.1	<i>Material propagativo obtenção e multiplicação</i>	29
3.3.2	<i>Delineamento experimental</i>	30
3.3.3	<i>Procedimentos</i>	31
3.3.4	<i>Análises estatísticas</i>	31
3.4	<i>Resultados e Discussão</i>	31
3.5	<i>Conclusões</i>	41
4	CAPÍTULO II	42
4.1	<i>Resumo</i>	42
4.2	<i>Introdução</i>	42
4.3	<i>Material e Métodos</i>	44
4.3.1	<i>Delineamento experimental</i>	44
4.3.2	<i>Procedimentos</i>	44
4.3.3	<i>Análises estatísticas</i>	45
4.4	<i>Resultados e Discussão</i>	45
4.5	<i>Conclusões</i>	62
5	CAPÍTULO III	63
5.1	<i>Resumo</i>	63
5.2	<i>Introdução</i>	63
5.3	<i>Material e Métodos</i>	65
5.3.1	<i>Delineamento experimental</i>	65
5.3.2	<i>Procedimentos</i>	65
5.3.3	<i>Análises estatísticas</i>	66
5.4	<i>Resultados e Discussão</i>	66
5.5	<i>Conclusões</i>	83

6	CAPÍTULO IV	75
6.1	<i>Resumo</i>	75
6.2	<i>Introdução</i>	75
6.3	<i>Material e Métodos</i>	78
6.3.1	<i>Delineamento experimental</i>	78
6.3.2	<i>Procedimentos</i>	78
6.3.3	<i>Análises estatísticas</i>	80
6.4	<i>Resultados e Discussão</i>	80
6.5	<i>Conclusões</i>	97
7	CAPÍTULO V	98
7.1	<i>Resumo</i>	98
7.2	<i>Introdução</i>	98
7.3	<i>Material e Métodos</i>	100
7.3.1	<i>Delineamento experimental</i>	100
7.3.2	<i>Procedimentos</i>	100
7.3.3	<i>Análises estatísticas</i>	103
7.4	<i>Resultados e Discussão</i>	104
7.5	<i>Conclusões</i>	108
8	CONCLUSÃO GERAL	109
	REFERÊNCIAS	110
	APÊNDICES	120

1 INTRODUÇÃO

A produção de alimentos é afetada por diversos fatores. Os principais que causam perda de produtividade são ataque de pragas, doenças e competição por plantas daninhas. Acredita-se que os patamares produtivos estão estagnados pela competição por plantas daninhas, visto que as pragas e doenças tem sido controlado por produtos fitossanitários. Já se tratando de plantas daninhas esta não é a realidade, isso porque a utilização inadequada e repetitiva de diversos herbicidas acelerou o processo de seleção de biótipos resistentes. Assim têm-se plantas daninhas que não são controladas quimicamente competindo diretamente com as culturas.

A eficiência no controle de plantas daninhas só é atingida quando se utiliza o manejo integrado. O manejo integrado inclui vários métodos de controle; biológico, físico, químico, cultural, e preventivo, ao longo dos anos estes métodos deixaram de ser utilizados conjuntamente pelos produtores agrícolas. Passou-se a utilizar somente o controle químico, impulsionado pelo baixo custo, elevada eficiência, baixa demanda de mão de obra e praticidade do uso exclusivo de herbicidas. A utilização inadequada dos métodos de manejo de plantas daninhas ocasionou a seleção de espécies resistentes a herbicidas, o que dificulta o manejo das culturas.

Muitas espécies resistentes são descritas dia após dia. Somente em 2019 descreveu-se 15 novas resistências em espécies distintas, entre elas pode-se citar: buva (*Conyza sumatrensis* Pruski & G. Sancho), azevém (*Lolium perenne* subsp. *Multiflorum* (Lam.)), aljôfar (*Lithospermum arvense* L.), capim-coqueiro (*Chloris radiata* (L.) Sw.), caruru (*Amaranthus palmeri* S. Watson), caruru (*A. tuberculatus* (Moq.) J. D. Sauer) entre outras. Observa-se que o caruru é citado duas vezes, causando preocupação. Há evidências de biótipos de espécies de caruru (*Amaranthus* spp) resistentes a herbicidas pertencentes a vários mecanismos de ação como: inibidores de fotossistema II, protox, EPSPs e acetolactato sintase (ALS).

O número de relatos de deficiência de controle dos herbicidas pertencente aALS eleva-se verticalmente. As plantas daninhas possuem grande variabilidade genética, quando expostas a diferentes situações ambientais e climáticas podendo se adaptar facilmente, as alterações bioquímicas são comuns, entre elas destaca-se as mutações. Mutações são definidas como alterações que ocorre no código genético e que será transmitida para os descendentes. Podem ocorrer de diversas maneiras, mas na natureza a mais comum é a ocorrência de erro na duplicação do DNA. A alteração de apenas um aminoácido na sequência do DNA, já é o suficiente para causar a mutação. Vale ressaltar que as plantas possuem enzimas de reparação, sendo assim a taxa de mutação é baixíssima.

Acredita-se que a rapidez na disseminação das resistências, não se deve, somente as mutações do código genético de *Amaranthus*, mas provavelmente, ocorra hibridação interespecífica entre plantas suscetíveis e resistentes, ocasionando agravamento do problema. Haja visto, que uma das formas de distribuição dos genes resistentes é pela polinização, desde que haja compatibilidade entre as espécies, produzindo híbridos viáveis.

Justifica-se este projeto pela preocupação com a formação dos biótipos de carurus resistentes, principalmente pela redução das opções químicas eficientes de controle, impactando no aumento do número de plantas daninhas competindo com as culturas agrícolas. Alguns biótipos de *Amaranthus* possuem resistência múltipla a herbicidas, o que garante sua persistência nos ecossistemas ou a dominância local.

A resistência impacta no aumento da população de indivíduos de *Amaranthus*, e observa-se que estes invadem novos ambientes com o passar do tempo. Acredita-se que a sua habilidade de adaptação esteja diretamente correlacionada com a sua elevada habilidade competitiva, pois possui alta taxa de crescimento da parte aérea e radicial ocupando rapidamente o espaço, usando eficientemente dos recursos água, luz, espaço e nutrientes. *Amaranthus* apresenta metabolismo C₄ moldando-se a períodos de estresse hídrico prolongado. Adapta-se muito bem em ambientes adversos por isso, causa impacto significativo na produtividade das culturas e na qualidade dos produtos colhidos.

Acredita-se que conhecer o comportamento das plantas, sua herdabilidade de genes e probabilidade de transferência de genes entre espécies é de fundamental importância. Assim, o trabalho trará informações que darão subsídios para a tomada de decisão quanto as melhores práticas de manejo.

Este estudo possui como objetivo geral caracterizar a morfologia e fenologia, bem como identificar se há formação de híbridos viáveis a partir do cruzamento interespecíficos de *Amaranthus*. Os objetivos específicos são a) caracterizar morfologicamente as espécies de *Amaranthus*; b) identificar o nível de resistência de espécies de *Amaranthus* a herbicidas ALS; avaliar se ocorre formação de sementes após o cruzamento interespecífico; avaliar se as sementes formadas são viáveis e verificar se ocorre transferência de genes de resistência e qual a taxa de transferência.

Parte-se da hipótese, de que ocorra a formação de híbridos viáveis a partir do cruzamento entre biótipos resistente e suscetíveis ao imazetapir com progênie resistente e suscetível.

Estruturou-se este trabalho da seguinte forma: introdução, onde se apresenta a situação problema, justificativa, objetivo geral, objetivos específicos e a hipótese. Na sequência apresenta-se Revisão de literatura, com aspectos conceituais sobre *Amaranthus* spp e a transferência de genes de resistência ao herbicida imazetapir através da hibridação intraespecífica, elencando-se as principais descobertas sobre o assunto dos últimos anos, nos periódicos científicos da área. No capítulo I apresenta-se e se discute a germinação e superação de dormência de sementes de *Amaranthus* spp. No capítulo II realiza-se a caracterização do desenvolvimento morfológico do sistema radicial de *Amaranthus* spp. No capítulo III descreve-se a morfologia e fenologia de espécies de *Amaranthus* spp. No capítulo IV apresenta-se as curvas de dose-resposta e a eficácia do herbicida imazetapir sobre espécies de *Amaranthus*. Já no último capítulo o V descreve-se a transferência da resistência de *A. retroflexus* ao herbicida imazetapir mediante cruzamentos. Por fim se descreve a Conclusão geral desta tese.

2 REVISÃO DA LITERATURA

As plantas daninhas são uma das principais causas da redução de produtividade e da qualidade dos cultivos agrícolas de todo o mundo. Estas plantas portam diversos nomes como planta daninha, planta concorrente, planta companheira, planta invasora, mato, planta tiguera entre outros. No entanto, todas possuem caráter comum: sua indisponibilidade no local, época e forma em que ocorrem. Pitelli (2015), descreve que elas são indesejadas pela gama de problemas que causam aos cultivos agrícolas, o que eleva o custo de produção, aumenta a concentração de inóculo de doenças, mantém insetos praga vivos, aumentam os riscos com acidentes em rodovias, ferrovias e hidrovias pela falta de visibilidade, reduzem à integridade de ambientes aquáticos e à geração de energia elétrica, entre outras importantes interferências. Plantas daninhas são rústicas, adaptadas aos ambientes e extremamente agressivas (FREITAS et al., 2011).

Graças a sua agressividade, as plantas daninhas se multiplicam e evoluem rapidamente, adaptando-se as variações climáticas e ambientais. Estas plantas invadem e colonizam novos ecossistemas, sejam eles agrícolas ou não. A quantidade de espécies que são descritas como daninhas cresce a cada dia, diversas famílias são descritas como de alto impacto, dentre elas destaca-se a Amaranthaceae. Esta família é constituída por espécies cosmopolitas, por serem adaptadas a regiões tropicais e temperadas. São registradas aproximadamente 2360 espécies dentro de 170 gêneros conhecidos, incluindo as cultivadas para produção de grãos, culturas hortícolas e espécies selvagens (DHELLOT et al., 2006; MEPBA et al., 2007). No Brasil, identificou-se vinte espécies nativas, destas 11 encontram-se no Rio Grande do Sul (MARCHIORETTO et al., 2008; MARCHIORETTO et al., 2010). Dentre elas: caruru-de-mancha (*A. viridis* L.), caruru-rasteiro (*A. deflexus* L.), caruru-de-espinho (*A. spinosus* L.), caruru-roxo (*A. hybridus* L.), caruru-amaranto (*A. cruentus* L.), caruru-do-bredo (*A. muricatus* (Moq. Hieron.)), caruru-manso (*A. rosenfurtii* Hunz.), caruru-beldro-manso (*A. blitum* L.) e caruru-gigante (*A. retroflexus* L.) (MARCHIORETTO, 2014).

As espécies de *Amaranthus* competem com as culturas de interesse agrícola. Isso se deve à habilidade de adaptação e tolerância à seca, pela elevada capacidade de adaptação osmótica (1,08-1,24 Mpa), o que garante que as plantas continuem fotossinteticamente ativas mesmo em condições de seca prolongada (LIU; STÜTZEL, 2002a). Esta característica é oriunda do mecanismo fotossintético C4, como a concentração interna de CO₂ é maior a planta abre menos os estômatos, reduzindo a perda de água por transpiração (TAIZ; ZEIGER, 2013). Em condições de estresse hídrico *Amaranthus* reduz a taxa de expansão foliar, massa seca da área foliar e a condutância estomática, evitando a desidratação dos tecidos foliares (LIU; STÜTZEL, 2004). Portanto, esta planta possui elevada habilidade em competir com espécies cultivadas, impactando significativamente na produtividade de culturas como soja, milho, feijão, algodão e cana de açúcar (VAZIN et al., 2012; GHAMARI; AHMADVAND, 2012).

No geral todas as plantas daninhas precisam ser manejadas, sendo fundamental para a manutenção da produtividade das culturas agrícolas, no entanto as espécies mais agressivas demandam maior cuidado em função do grau de impacto nos ecossistemas produtivos é maior. Estas informações são validadas em diversas pesquisas, quando avaliou-se a interferência de caruru-gigante (*Amaranthus retroflexus*) e outras espécies em cultivo de batata-doce se obteve a redução de produtividade de 88,7 a 91% (SANTOS et al., 2018). A competição de plantas daninhas com algodão e descreveram que o alto impacto na redução de produção se deve ao rápido desenvolvimento inicial de *Amaranthus*, observou-se que 83% das plantas daninhas germinadas na fase inicial eram de *Amaranthus* (RAIMONDI et al., 2017). Levando em conta estas informações pode-se dizer que *Amaranthus* é altamente competitivo por se estabelecer rápido e utilizar grande parte dos recursos disponíveis no ambiente.

Existem diversos métodos de manejo de plantas daninhas citando os principais: preventivo, cultural, mecânico, biológico e químico. Todos eles deveriam ser utilizados em conjunto para a obtenção de controle efetivo. Porém o método mais utilizado é o químico, com uso de herbicidas, pela eficiência, rapidez e demandar menor mão de obra com menor custo. Porém, o uso incorreto de herbicidas e a evolução constante das

espécies vem provocando a seleção de biótipos com resistência a herbicidas (FREITAS et al., 2011; GHANIZADEH; HARRINGTON, 2017).

2.1 Resistência

A resistência é um fenômeno natural, que pode ocorrer em qualquer população de plantas, isto porque a variabilidade genética natural, é existente em todos os indivíduos. A variabilidade é responsável pelo início da seleção da resistência. Todas as populações de plantas daninhas, independentemente da aplicação de qualquer produto, provavelmente contêm plantas individuais que são resistentes a herbicidas (NEVILL et al., 1998). A resistência a herbicidas é identificada através da habilidade de uma planta em sobreviver e se multiplicar, após exposição a uma dose de herbicida que normalmente seria letal para o biótipo suscetível da planta (HEAP, 2020). De acordo com Mariani et al. (2015), são alterações genéticas que causam a resistência, alteração do local de ação, diferença na capacidade metabólica ou compartimentação. Alteração no local de ação é amplamente relatada, esta mutação é causada por alterações na sequência do DNA que codifica a proteína alvo, também chamada de sítio ativo. Todos os herbicidas agem na inibição de enzimas, se ocorreu qualquer alteração tridimensional na proteína, o herbicida não conseguirá se ligar a ela, reduzindo assim, a eficiência do herbicida (DÉLYE et al., 2015).

Normalmente, a resistência se apresenta em reboleiras, aumentando a sua proporção, distribuindo-se e dominando toda a área (CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO, 2008). A resistência eleva a dificuldade de manejo das culturas agrícolas. Estudos mostram que a taxa de transferência de genes de resistência através de hibridação é extremamente elevada. Para o gene de resistência ALS no *Amaranthus* comprovou-se que quando se utiliza plantas masculinas suscetíveis para fecundar plantas femininas resistentes se tem uma porcentagem geral de progênies resistentes de 63%. Já quando se fez o contrário encontrou-se uma progênie resistente de 38% (LIU et al., 2012). Isto indica que quando se tem plantas doadoras resistentes a taxa de elevação de resistência de ALS é elevadíssima, podendo chegar em 100% em três gerações.

A primeira espécie resistente à herbicidas foi identificada nos Estados Unidos, na década de 70, e a seleção de espécies resistentes evoluiu rapidamente. A planta resistente sobrevive dentre as sensíveis, se reproduz e dissemina-se, assim a resistência evoluiu rapidamente (POWLES; YU, 2010). Há registro de 258 espécies de plantas daninhas com resistência simples ou múltipla a herbicidas (HEAP, 2020). A partir de 1971 identificou-se plantas de *Amaranthus* com resistência simples ou múltipla a diversos herbicidas, como os inibidores da fotossíntese no fotossistema II, inibidores de 5-enolpiruvato-chiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), inibidores da protoporfirinogênio oxidase, inibidores da formação de microtúbulos, inibidores da biossíntese de carotenoides e inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS) (HEAP, 2020).

Para Vargas e Roman (2006), a resistência de plantas daninhas a herbicidas é muito relevante, principalmente em razão do limitado número de herbicidas disponíveis para controle dos biótipos resistentes. O número de ingredientes ativos disponíveis para a realização de manejo efetivo de algumas plantas daninhas é restrito, e isso tem se agravado decorrer dos anos. Pela ocorrência de resistência múltipla dificulta ainda mais o problema, já que, neste caso, são dois ou mais os mecanismos que precisam ser substituídos, comprometendo-se o controle dos biótipos resistentes com o uso de herbicidas, restringindo-se esta prática a outros métodos de controle menos eficientes.

Plantas resistentes de *Amaranthus* são selecionadas em uma população de indivíduos., essa seleção maciça de biótipos resistentes se deve ao número limitado de herbicidas registrados para o manejo de caruru o que faz com que os produtores utilizem herbicidas inibidores de ALS repetidamente. Inicialmente a população de plantas resistentes pode até ser baixa, mas em resposta à mutação, os herbicidas deixam de controlar o caruru.

O uso repetitivo de inibidores de ALS é realizado desde 1982, pois são herbicidas seletivos e que controlam plantas daninhas dicotiledôneas e monocotiledôneas dependendo da estrutura química do herbicida. Existem diversos grupos de herbicidas que agem na enzima ALS: sulfoniluréias (chlorimuron, flazasulfuron, halosulfuron, metsulfuron, nicosulfuron, oxasulfuron, pyrazosulfuron); imidazolinonas (imazapir,

imazaquin, imazethapir, imazamox e imazapic); pyrimidyl-benzoatos (bispiribac e piritiobac), triazolopirimidinas (cloransulan, diclosulan e flumetsulan) (CARVALHO, 2013).

O mecanismo de ação desses herbicidas consiste na inibição da síntese dos aminoácidos alifáticos de cadeia lateral como a valina, leucina e isoleucina, sendo essenciais para o desenvolvimento da planta (LLOYD; VINAY, 2016). A enzima ALS age como catalisador de duas reações, na condensação de duas moléculas de piruvato em uma molécula de acetolactato e na condensação de uma molécula de piruvato com uma de acetobutirato formando acetohidroxitirato, se estas reações não acontecerem ocorre o bloqueio da síntese dos aminoácidos (DUGGLEBY; PANG, 2000). Assim quando se aplica estes herbicidas em plantas sensíveis ocorre a ligação entre a enzima ALS e a molécula herbicida, com isso não ocorre a formação do acetolactato, que é indispensável para a proliferação de aminoácidos. A paralisação na síntese dos aminoácidos leva a uma interrupção na divisão celular e paralisação do crescimento (ZHOU et al., 2007). Os herbicidas ALS podem ser utilizados em pré e pós- emergência, a expressão dos sintomas são lentos podem levar até 15 dias para começarem a se expressar. Iniciando com manchas cloróticas, avermelhamento das nervuras segue para um encarquilhamento com posterior necrose e morte. Também pode se observar em alguns casos o bronzeamento das folhas, estas tornam-se marrons. Ocorre a necrose das gemas apicais, brotações laterais e do nó que liga o pecíolo foliar a haste, causando a abscisão das folhas (ROMAN et al., 2007).

Quando a planta apresenta resistência, o controle com herbicidas inibidores de ALS pode não ter eficiência. A resistência se difundiu amplamente pelo mundo, isto em virtude de mutações do gene responsável pela codificação desta enzima (CORBETT; TARDIF, 2008). A mutação é definida como qualquer alteração ou erro ocorrido na replicação do ácido desoxirribonucleico (ADN) na sequência de nucleotídeos básicos, bem como na estrutura e número de cromossomos (CAETANO; CORTEZ, 2014). Na maioria dos casos a mutação ocorre pela substituição de aminoácidos na ALS. Há relatos que existem oito substituições na enzima ALS que são responsáveis por causar resistência em plantas, Ala122, Pro197, Ala205, Asp376, Arg377, Trp574, Ser653 e

Gly654 (YU; POWLES, 2014; TRANEL et al., 2018). Em *Amaranthus* algumas dessas substituições que causam mutações ocorreram, entre elas Ala-205-Val, Trp-574-Leu, Ser-653-Thr estas mutações causam diferentes níveis de resistência (CHEN et al., 2015; MOLIN et al., 2016, SINGH et al., 2019).

A resistência é variável, e este é definido como níveis ou fator de resistência, estes são calculados dividindo-se o valor de I50 do biótipo com suspeita de resistência por I50 do biótipo suscetível ($RF = R/S$), o valor encontrado expressa o número de vezes que a dose necessária para controlar 50% dos biótipos é maior do que a dose que controla 50% de biótipos sensíveis; quando encontra-se valores superiores a 1 considera-se que os biótipos são resistentes (CHRISTOFFOLETI & LÓPEZ-OVEJERO, 2008). A variabilidade genética está diretamente correlacionada à suscetibilidade a herbicidas (FRANCISCHINI et al., 2014a).

Em uma população de indivíduos coletados no mesmo ambiente pode-se ter grande variabilidade do fator de resistência. Para caruru-folha-de-cuia encontraram-se plantas que necessitaram 1,3 a 10,7 vezes a dose do produto trifloxysulfuron-sodium para obter o mesmo nível de controle do biótipo suscetível (FRANCISCHINI et al., 2014a). Em *Amaranthus retroflexus*, observou-se elevado grau de variabilidade do fator de resistência em virtude da grande variação genética. Populações de plantas coletadas em Goiás oriunda de ambientes distintos apresentam grande variação necessitando de 15 a 58 vezes a dose de trifloxysulfuron-sodium para controlar 50% da população, mas para o controle de 80% de uma população coletada no Mato Grosso do Sul foi necessário 90 vezes a dose recomendada (FRANCISCHINI et al., 2014b). Estas informações são repetidamente confirmadas, recentemente Singh et al. (2018) avaliando 20 amostras de plantas de *Amaranthus palmeri* S. Wats, obtendo-se que a dose de trifloxysulfuron-sodium necessária para causar o controle de 50%, precisa ser 21-56 vezes maior do que a dose necessária para controlar a população suscetível. É possível que esta grande variabilidade no nível de resistência deva-se a variabilidade genética apresentada pelo *Amaranthus*.

A grande variação genética observada em plantas de *Amaranthus* se deve principalmente ao reduzido ciclo produtivo e à elevada capacidade de produção de sementes, que oferece uma grande variedade de características genéticas, e que, em última análise, promove maior desenvolvimento de resistência (TRADEL et al., 2009; FRANCISCHINI et al., 2014a). Inúmeras espécies resistentes foram relatadas ao longo dos anos, mas em 2016, ano de início desta pesquisa identificou-se a resistência de *Amaranthus*, ao herbicida imazetapir (HUANG et al., 2016). Acredita-se que esta resistência pode ser causada por mutação do indivíduo ou por transferência por meio de hibridação.

2.2 Hibridação

A hibridização entre espécies daninhas e plantas cultivadas tem sido repetitivamente mencionada na literatura. O impacto no manejo é significativo visto que a taxa de hibridação é elevada, em algumas famílias pode chegar a 25% (BAACK; RIESEBERG, 2007). A hibridação pode ocorrer em qualquer espécie, em *Amaranthus* comprovou-se que pode ocorrer entre indivíduos da mesma espécie ou entre espécies diferentes. Existem relatos que mostram a formação de híbridos viáveis e com genes de resistência a herbicida (GAINES et al., 2011; NANDULA et al., 2014).

Hibridação é definida como fertilização natural entre indivíduos de duas ou mais populações (ARNOLD, 2004). A hibridação espontânea tem sido considerada a décadas como o primeiro passo para a formação de novos alelos (ELLTRAND, 2003). Este evento ocorre associado ao processo de reprodução sexuada. Acredita-se, então, que a elevação no número de biótipos de *Amaranthus* resistentes a herbicidas se deve aos cruzamentos entre plantas suscetíveis e resistentes. As populações de plantas daninhas de reprodução sexuada conseguem reunir de forma rápida todas as mutações ocorridas em diferentes indivíduos pela hibridação. A multiplicação das plantas pode ser realizada por dois processos: reprodução assexuada e sexuada. Reprodução assexuada forma indivíduos geneticamente idênticos ou semelhantes a planta mãe, através da formação de novos indivíduos a partir de mitose de células somáticas. Isto ocorre pelo brotamento ou

ramificação de partes vegetativas, raízes, caules, folhas e ou inflorescências, ou por meio de sementes através da apomixia (HOLSINGER, 2000; SILVERTOWN, 2008; CAETANO; CORTEZ, 2014). Define-se apomixia como a formação assexuada de sementes, com o desenvolvimento de um ou mais embriões a partir de tecidos do óvulo (BICKNELL; KOLTUNOW, 2004).

A reprodução sexuada é o processo de união de gametas femininos e masculinos, dando origem a um zigoto que contém características mistas. Tal processo resulta em indivíduos híbridos heterozigóticos para um ou mais genes. A fertilização entre espécies distintas altera a composição genética de populações, elevando sua variabilidade e assim podendo interferir de forma direta na evolução fenotípica e o sucesso de sobrevivência em ambientes agrícolas (CAMPBELL; TEITEL; MIRITI, 2016). Isto porque os indivíduos formados carregarão todas as variações genéticas ocorridas no processo evolutivo. Então a união das mutações ocorre facilmente mediante a troca de alelos entre os indivíduos em um curto espaço de tempo, beneficiando-se assim com maior rapidez da vantagem seletiva. O movimento de pólen dentro e entre populações pode também facilitar o empilhamento de diferentes características que contribuem para a resistência múltipla a herbicidas (TRANEL; SADEQUE, 2017).

As plantas são organismos sésseis e dependem de agentes externos para realizar a movimentação dos gametas com alelos mutantes. O pólen é a estrutura morfológica responsável por permitir a associação entre plantas. O pólen carrega todo o código genético de um indivíduo (BONASORA et al., 2013). Veasey et al. (2011) em sua revisão bibliográfica relatam a ocorrência de formação de diversos híbridos, formando novas variedades ou mesmo novas espécies. A fertilização ocorre quando um doador de pólen doa o seu pólen para um receptor de pólen. Diversas características reprodutivas podem influenciar neste processo, como o agente responsável pela dispersão de pólen e número de grãos de pólen produzidos. A capacidade de dispersão está diretamente ligada ao agente dispersor. Descrevem-se na literatura diversos agentes de dispersão de pólen, os principais são vento (anemofilia), insetos (entomofilia), pássaros (ornitofilia), água (hidrofilia), morcegos (quiropterofilia), ser humano (antropofilia) (CARVALHO, 2013), dentre outros.

Considera-se que o pólen das flores é um dos principais fatores responsáveis pela distribuição de genes resistentes a herbicidas, já que a maioria das características de resistência é controlada por genes nucleares (JASIENIUK et al., 1996; LIU et al., 2012). O grão de pólen carrega o genoma de um indivíduo, mas para que ocorra a hibridação entre plantas é necessário que elas tenham o mesmo número de cromossomos. A compatibilidade do pólen é dada por este fator. O número cromossômico básico das espécies de *Amaranthus* são $n=16$ e $n=17$, e, em alguns casos, ambos os números foram citados para a mesma espécie, mas o número de cromossomos é variável entre as espécies (BONASORA et al., 2013).

A dispersão do pólen no ambiente gera diversas possibilidades de associação entre espécies e até mesmo entre famílias distintas de plantas daninhas. Se existem diversas possibilidades de associação então existe elevada frequência de pareamentos positivos. Estes pareamentos podem ocorrer entre biótipos mutantes distintos. Quanto maior for a capacidade de dispersão e viabilidade do pólen, maior será a probabilidade deste se depor sobre o estigma receptível receptiva e ocorrer a fecundação gerando um indivíduo híbrido. Estudos com *A. retroflexus*. demonstraram que o pólen não perdeu viabilidade 24 horas após o florescimento e continuou viável após 120 h, indicando que a fertilização não é limitada pela longevidade do pólen. Já a temperatura e a umidade relativa do ar influenciam diretamente na longevidade do pólen, podendo reduzir a longevidade por desidratação, reduzindo assim a taxa de hibridização (LIU et al., 2012).

A taxa de transferência de genes de resistência ALS em *Amaranthus* é extremamente elevada, comprovadamente a planta doadora de pólen é responsável pela caracterização genética da planta. Quando se utilizou plantas estaminadas suscetíveis para fecundar plantas carpeladas resistentes se obteve uma progênie resistente de 63%. Já, quando se fez o contrário encontrou-se uma progênie resistente de 38% (LIU et al., 2012). Isto indica que quando se tem plantas doadoras resistentes à taxa de elevação de resistência de ALS é elevada, podendo chegar em 100% em três gerações.

Um híbrido, mesmo tendo baixa capacidade de polinização a longa, possui herdabilidade de resistência a herbicidas, pois a resistência pode ser transferida pela

planta polinizadora (LIU et al., 2012; PARKER et al., 2015). É possível ocorrer cruzamentos entre híbridos, transferindo assim um segundo, terceiro ou quarto tipo de resistência pelo mesmo evento de hibridização. Então o benefício de transportar o gene de resistência a herbicidas pode superar os efeitos da redução da fertilidade dos híbridos em retrocruzamentos subsequentes (PARKER et al., 2015). O genoma do híbrido consegue ser duplicado, formando um aloploiploide. Esse processo pode ocorrer várias vezes e formar espécies com mais de dois genomas distintos formando os autopoliplóides (VEASEY et al., 2011). As plantas poliplóides em geral são maiores e mais robustas que seus genitores diplóides (DEWEY, 1980). Esta evolução contribui para o aumento da população de espécies daninhas e infere na superioridade competitiva a elas

2.3 Sementes

A longevidade das sementes é responsável pela viabilidade das mesmas no solo (CARVALHO, 2013). A longevidade de sementes associada a produção de grande número de sementes e dormência elevam a dificuldade de manejo. A dormência é uma característica genética, passada de geração para geração. Dormência é um dos fatores que garantem a persistência de uma espécie em um ambiente (CAMPBELL; TEITEL; MIRITI, 2016). As sementes apresentam níveis de dormência variável, sendo assim, ocorre variação no período de germinação garantindo as infestações futuras da área, causando falhas no controle químico. As plantas que não controladas conseguem se reproduzindo e estas manter o reabastecimento do banco de sementes. Populações híbridas de nabo (*Raphanus raphanistrum* L. x *R. sativus* L.) apresentam sementes com maior nível de dormência, isso aumenta a dificuldade de esgotar o banco de sementes e aumenta a sua persistência. Podendo acarretar elevação acelerada de populações. Populações híbridas de nabo cresceram quatro vezes mais rapidamente do que as populações selvagens (TEITEL; KLIMOWSKI; CAMPBELL, 2016).

A taxa de hibridização encontrada na literatura é variável entre as espécies e até mesmo dentro da mesma espécie. Para arroz (*Oryza sativa* L.) resistente aos herbicidas inibidores da enzima ALS e arroz vermelho, principal espécie daninha do sistema arroseiro brasileiro, sendo que para esta espécie é de 0,065% (VILLA et al., 2006; FLECK

et al., 2008). Mas esta taxa é dependente do cultivar, Estorinos Jr. et al. (2003) identificaram uma faixa de hibridização de 0,0045 a 0,0014%. O arroz é uma espécie autógama com taxa de fecundação inferior a 1%, então os valores apontados pelos autores são elevados. E tendem a aumentar quanto maior for a infestação da área (MARCHESAN et al., 2011). Em um experimento de canola (*Brassica napus* L.) resistente aos herbicidas inibidores da ALS, grupo químico das imidazolinonas, em cruzamento com nabo selvagem (*B. rapa* L.) obteve-se uma taxa de hibridização de 3,6% (URETA et al., 2017).

A viabilidade das plantas híbridas normalmente é baixa, mas elas possuem herdabilidade de resistência a herbicidas, pois a resistência pode ser transferida pela planta polinizadora (LIU et al., 2012; PARKER et al., 2015). Então, mesmo com baixa taxa de multiplicação, fica claro a importância de se conhecer qual realmente é a taxa de hibridação do *Amaranthus*. Este conhecimento pode influenciar o produtor na tomada de decisão de manejo destas espécies daninhas.

CAPÍTULO I

Germinação e superação de dormência de sementes de *Amaranthus* spp

1.1 Resumo

As hipóteses deste estudo são de que: se o processo de germinação de espécies e biótipos de *Amaranthus* é distinto, então os seus períodos de estabelecimento são variáveis e, que o efeito dos métodos de superação de dormência na velocidade e potencial de germinação varia de acordo com a espécie e biótipo de *Amaranthus*, então essas espécies e biótipos se estabelecem em momentos distintos no campo. Assim objetivou-se avaliar o potencial de germinação e a velocidade de emergência de cinco espécies de *Amaranthus* e identificar o efeito de métodos de superação de dormência de sementes na germinação dessas espécies. A superação da dormência foi avaliada em duas situações: 1. Temperatura alternada de 30-20°C, em fotoperíodo de 8 horas luz e 16 horas escuro; 2. Temperatura alternada de 30-20°C, em escuro contínuo de 8 e 16 horas. Os métodos de superação de dormência foram a escarificação mecânica; pré-esfriamento; escarificação química e embebição prolongada, além da testemunha. O máximo potencial de germinação foi alcançado primeiramente por *A. viridis*, seguido por *A. lividus*, *A. spinosus*, *A. hybridus*, *A. retroflexus* biótipo suscetível e biótipo resistente respectivamente. A escarificação mecânica elevou o índice de velocidade de emergência principalmente para *A. viridis*, *A. lividus* e *A. retroflexus* biótipo suscetível. Para *A. viridis* a superação da dormência esteve associada a ausência de luz com escarificação mecânica; *A. lividus* foi influenciado pela embebição prolongada e escarificação mecânica sem a presença de luz; *A. spinosus* reagiu a escarificação mecânica nas duas situações de luminosidade; *A. hybridus* não respondeu a nenhum dos tratamentos; *A. retroflexus* biótipo suscetível esteve associado a escarificação mecânica; embebição prolongada e a ausência de luz; *A. retroflexus* biótipo resistente reagiu a embebição prolongada associada a presença de luz. A variação na forma de superação da dormência e no tempo indica a elevada variabilidade no estabelecimento a campo, o que vem a garantir infestações prolongadas e contínuas no campo.

Palavras-chave: 1. Escarificação física. 2. Embebição prolongada. 3. Pré- esfriamento 4. Escarificação química. 5. Caruru

1.2 Introdução

A germinação de sementes envolve uma sequência de eventos que iniciam com a absorção de água e termina com o alongamento do eixo embrionário. A germinação está visivelmente completa quando a radícula rompe o tegumento da semente. Os eventos subsequentes, incluindo a mobilização das principais reservas de armazenamento, estão associados à emergência das plântulas (BEWLEY, 1997).

O índice de velocidade de emergência (IVE) determina a velocidade de estabelecimento das plântulas no campo, sendo importante no processo competitivo, pois a planta que se estabelecer primeiro terá maior habilidade para competir nos mais amplos

ecossistemas agrícolas (FLECK et al., 2003). O elemento que garante a habilidade competitiva de várias espécies é a dormência. O significado ecológico da dormência das sementes inclui prevenir a germinação fora da estação e, conseqüentemente, diminuir a competição entre as espécies garantindo assim, a sobrevivência das plantas sob condições adversas (SHU et al., 2016).

A distribuição da germinação ao longo do tempo é controlada principalmente pelas condições fisiológicas das sementes, estas variam dentro de uma mesma planta, assim sendo, ocorre germinação em momentos distintos (NONOGAKI et al., 2014). Uma combinação de fatores ambientais e genéticos determina quando a germinação das sementes ocorre, sendo que hormônios endógenos mediam essa decisão em resposta ao ambiente (VESTY et al., 2016). Assim, a dormência é uma importante característica das sementes, pois seu nível determina a gama de condições nas quais uma semente é capaz de germinar. A dormência varia em uma escala contínua, que é visualizada por mudanças na gama de condições adequadas à germinação. Assim, os fatores que superam a dormência aumentam a faixa de condições favoráveis à germinação, enquanto os que induzem à dormência reduzem essa faixa (VLEESHOUWERS et al., 1995).

As sementes de *Amaranthus* possuem diferentes níveis de dormência, o que propicia variação no período de germinação, garantindo infestações tardias das áreas agrícolas, e impactando na falha de controle químico. Assim as plantas que não foram controladas conseguem se reproduzir e reabastecer o banco de sementes do solo (TEITEL; KLIMOWSKI e CAMPBELL, 2016). Além disso, as sementes de *Amaranthus* possuem elevada longevidade no solo, este fator associado à elevada produção de sementes e dormência aumentam a dificuldade de manejo destas plantas (CAMPBELL; TEITEL; MIRITI, 2016).

Também se observa que o gênero *Amaranthus* tem se destacado entre as espécies que apresentam resistência a herbicidas, dificultando ainda mais o manejo em áreas de cultivo agrícola. Há evidências de biótipos de *Amaranthus* resistentes a herbicidas de alguns mecanismos de ação, como: inibidores de fotossistema II; inibidores de protox; inibidores da síntese de EPSPs; auxinas sintéticas; e inibidores de acetolactato sintase

(ALS) (HEAP, 2020). O número de relatos de deficiência de controle dos herbicidas ALS eleva-se verticalmente. Entretanto não existe muita informação sobre a seleção de caracteres fenotípicos. Para esses caracteres é de se esperar que também ocorra a seleção, principalmente aos ligados a longevidade de sementes no solo.

Estudos que consigam realizar a caracterização do comportamento do processo de germinação, bem como métodos de superação de dormência de sementes de espécies de *Amaranthus*, são fundamentais. Esses estudos podem gerar informações importantes para a tomada de decisão do produtor quanto as melhores práticas para o manejo integrado de plantas daninhas.

As hipóteses deste estudo são de que se o processo de germinação de espécies e biótipos de *Amaranthus* é distinto, então os períodos de estabelecimento são variáveis e, que o efeito dos métodos de superação de dormência na velocidade e potencial de germinação varia de acordo com a espécie e biótipo de *Amaranthus* o que faz com que estabelecimento dessas, espécies e biótipos seja em momentos distintos no campo. Assim objetivou-se com o trabalho avaliar o potencial de germinação e a velocidade de emergência de espécies de *Amaranthus* e identificar o efeito de métodos de superação de dormência de sementes na germinação dessas espécies.

3.3 Material e Métodos

3.3.1 Material propagativo obtenção e multiplicação

As sementes foram coletadas nos municípios de Passo Fundo, Vacaria, Sananduva, Vanini e Casca no estado do Rio Grande do Sul; São Paulo e Lucas do Rio Verde, Mato Grosso, a fim de agrupar diferentes espécies de *Amaranthus* e suscetibilidades variáveis ao herbicida imazetapir pertencente ao mecanismo de ação inibidor da enzima acetolactato síntase (ALS). Foram estudadas cinco espécies de *Amaranthus* sendo elas: *A. viridis* L., *A. lividus* L., *A. spinosus* L., *A. hybridus* L. e *A. retroflexus* L. As inflorescências das plantas de cada espécie foram coletadas em áreas de

lavoura, nos meses de março e abril de 2016. Após a coleta, as inflorescências foram acondicionadas individualmente em embalagens de papel e secaram a temperatura ambiente.

Vinte sementes de cada planta foram semeadas em abril de 2016. Para tal, distribuí-se as sementes em bandejas alveoladas, e quando as plantas atingiram a segunda folha (V2) se fez o transplante de quatro plantas por vaso preenchido com substrato comercial tipo Turfa Fértil® e adubado com fertilizante mineral fórmula 08-25-20. As plantas foram irrigadas periodicamente, mantendo-se o solo sempre em capacidade de campo. Quando as plantas atingiram quatro folhas (V4) foi aplicado o herbicida imazetapir na dose de 106 g de i.a ha⁻¹. As plantas que apresentaram sintomas visuais e morreram em 21 dias foram consideradas suscetíveis ao herbicida, já as plantas que mantiveram seu desenvolvimento sem apresentar sintomas visuais foram selecionadas como resistentes. Para confirmação destas informações realizou-se curva de dose-resposta, com as doses testadas de (0 Dose (D); 0,12 D; 0,25 D; 0,5 D; 0,75 D; 1 D; 2 D; 4 D; 8 D; 16 D; 32 D e 64 D) (dados apresentados no Capítulo 4).

Após a seleção inicial realizou-se a multiplicação das sementes em ambiente protegido, nos meses de junho a setembro de 2016. Uma única planta foi selecionada a partir da etapa anterior. As plantas foram cultivadas em vasos em ambiente protegido. No início da fase reprodutiva as inflorescências foram isoladas em sacos de papel para evitar a polinização cruzada. Na maturação fisiológica as inflorescências foram coletadas, identificadas e mantidas à sombra em temperatura ambiente por um mês. Com as sementes colhidas, foram conduzidos os experimentos:

a) Experimento 1- Caracterização do potencial de germinação e velocidade de emergência de *Amaranthus* sp.

3.3.2 Delineamento experimental

Foram conduzidos dois experimentos, um em casa de vegetação (Experimento 1) e o outro em câmara de crescimento (BOD) (Experimento 2). Estes foram conduzidos

entre março de 2017 a outubro de 2018. Foram implantados em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições.

3.3.3 Procedimentos

O experimento foi instalado em casa de vegetação, e os tratamentos consistiram em diferentes espécies de *Amaranthus*: *A. viridis*; *A. lividus*; *A. spinosus*; *A. hybridus*; e dois biótipos de *Amaranthus retroflexus* um suscetível e outro resistente ao herbicida imazetapir.

Utilizaram-se como unidade experimental vasos com capacidade volumétrica de 1,3 L, preenchidos com solo, classificado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2018), e uma camada superficial de 15 cm de substrato comercial. A densidade de semeadura utilizada foi de 50 sementes viáveis por vaso, com profundidade de semeadura de 1,0 cm. A irrigação foi realizada manualmente, mantendo-se em capacidade de campo durante o experimento. Realizou-se alteração da posição dos vasos a cada 5 dias para garantir a homogeneidade.

Avaliou-se a emergência e o índice de velocidade de emergência (IVE), com base no critério agrônomo, o qual constituiu na contagem diária das plântulas emergidas por vaso até o trigésimo dia após a semeadura (DAS). Considerou-se plântula emergida aquela que rompeu o solo. Para o cálculo do IVE utilizou-se a equação De Maguirre (1962): $IVE = N1/D1 + N2/D2 + Nn/Dn$; onde: IVE = índice de velocidade de emergência; N1= número de plântulas emergidas no primeiro dia; Nn= número acumulado de plântulas emergidas; D1= primeiro dia de contagem; Dn= número de dias contados após a semeadura.

b) Experimento 2- Superação da dormência de sementes de *Amaranthus* sp.

O experimento foi instalado em laboratório na câmara incubadora tipo BOD, onde utilizou-se as mesmas espécies do Experimento 1 em duas condições: 1. Temperatura alternada de 30-20°C, em fotoperíodo de 8 horas luz e 16 horas escuro; 2. Temperatura alternada de 30-20°C, em escuro contínuo de 8 e 16 horas. Para a condição 1 calculou-se

o IVE conforme descrito no Experimento 1. No entanto, na condição 2 para evitar a entrada de luz, realizou-se somente a avaliação do potencial germinativo aos 14 dias após a semeadura (DAS), contando-se as plântulas emergidas normais, ou seja, que foram capazes de se estabelecer e se desenvolver (BRASIL, 2009).

Avaliaram-se os métodos de superação de dormência, nos quais as sementes foram submetidas a cinco tratamentos: escarificação mecânica das sementes com lixa nº 100, por 1 minuto; pré-esfriamento das sementes à temperatura de 5-10°C por um período de até sete dias, em sacos de papel; escarificação química com a imersão das sementes em ácido sulfúrico (98%) por dois minutos, em seguida foram lavadas três vezes com água destilada; embebição prolongada onde submergiram-se as sementes em água destilada, por 48 horas, em temperatura ambiente; testemunha, sem superação de dormência. Utilizou-se 50 sementes, totalizando 200 sementes por tratamento. As sementes de cada espécie foram alocadas em caixas de polietileno tipo gerbox (11 cm de largura, 11 cm de comprimento por 3,5 cm de altura), sobre duas folhas de papel filtro umedecidas com água destilada. A posição dentro da BOD foi alterada a cada três dias a fim de obter condições de luminosidade homogêneas.

3.3.4 Análises estatísticas

Para a análise estatística o número de plantas emergidas diariamente nos vasos (Experimento 1) foi ajustado aos modelos lineares (linear e quadrático) e não lineares (exponencial, sigmoidal). A escolha do modelo se deu em virtude do maior ajuste do valor de R². Os resultados de IVE e potencial de germinação (Experimento 2) foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste F. Na ocorrência de efeitos significativos, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

1.3 Resultados e Discussão

O percentual de germinação das espécies estudadas variou aproximadamente 45% entre o maior ($\approx 70\%$) e o menor ($\approx 25\%$) valor percentual (Figura 1). O *Amaranthus hybridus* foi a primeira espécie a iniciar a germinação aos 5 DAS (dias após a semeadura),

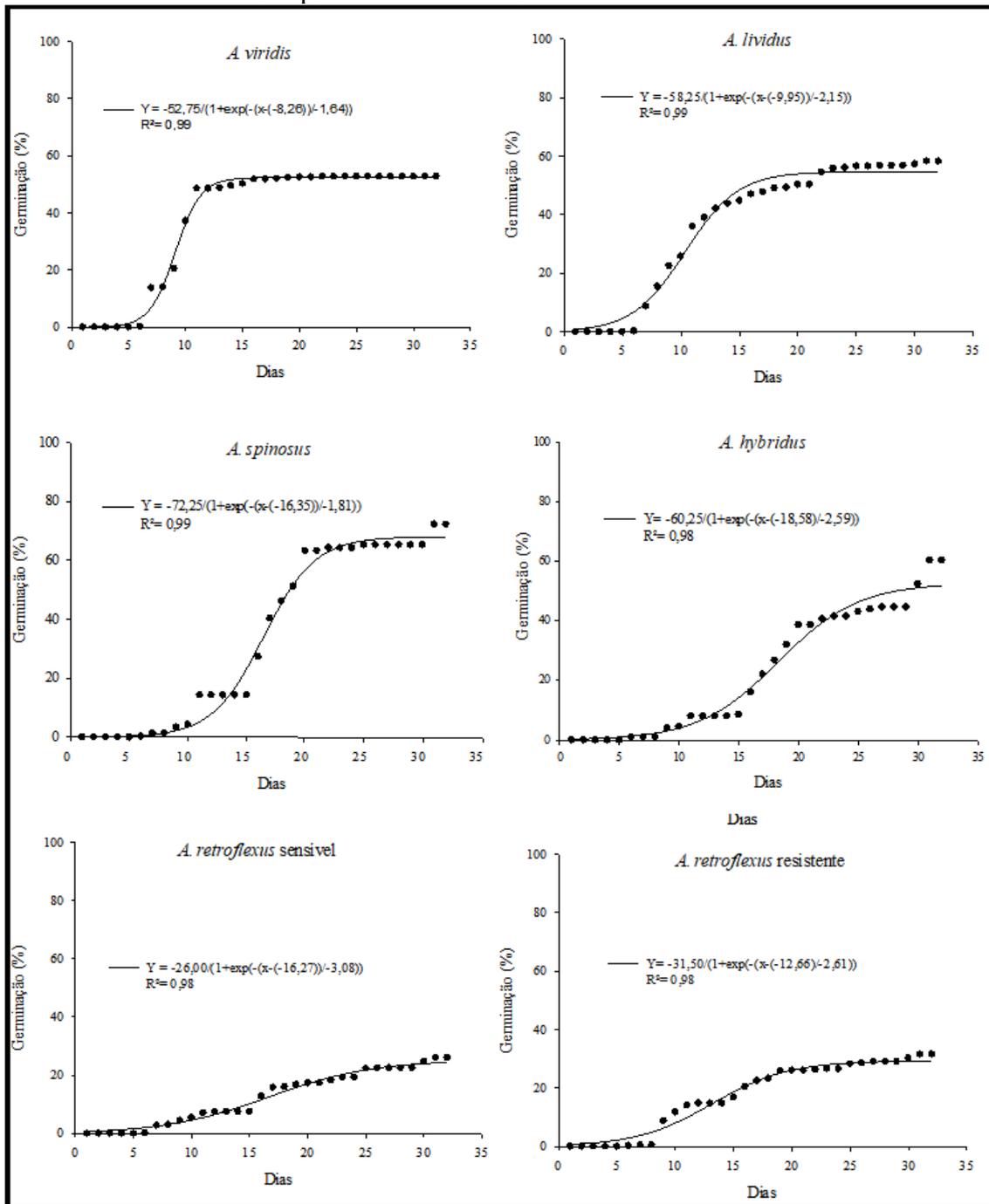
sendo que as demais apresentaram 1 dia de atraso (6 DAS). Contudo, a germinação total de *A. hybridus* mostrou-se inferior em relação as demais espécies, com exceção de *A. retroflexus* biótipo suscetível, pois somente a partir de 15 DAS apresentou germinação superior a 15%. O máximo potencial de germinação foi alcançado primeiramente por *A. viridis* aos 21 DAS com 52,7%, sendo aos 30 DAS para as demais espécies com 58,2% para *A. lividus*, 72,2% para *A. spinosus*, 60,2% para *A. hybridus*, 26% e 31,2% para *A. retroflexus* biótipo suscetível e resistente ao herbicida imazetapir, respectivamente.

Ao analisar os dados percebe-se velocidade inicial superior do *A. viridis* em relação às demais espécies estudadas, com cerca de 50% de suas sementes germinadas em 10 DAS, alcançando seu máximo potencial de germinação 8 dias antes das demais espécies. Destaca-se que para *A. retroflexus*, tanto o biótipo suscetível como o resistente ao herbicida imazetapir, apresentaram os menores percentuais de germinação, sendo que aproximadamente 70% de suas sementes não germinaram.

A ampla variação obtida no processo de germinação pode estar correlacionada a dormência (Figura 1). Acredita-se que a dormência nas espécies de *Amaranthus* testadas seja imposta por dois mecanismos físico e fisiológico, também chamada de dormência combinada (VIVIAN et al. 2008). O tegumento de ampla espessura impede a passagem de luz, água e gases, tornando este mecanismo um fator crucial na longevidade das sementes e permanência da espécie em distintos ambientes (CRISTAUDO et al., 2007; CAMPBELL; TEITEL; MIRITI, 2016). Os níveis de dormência variam, assim sendo, ocorre variação no período de germinação garantindo infestações futuras. A quantidade de plantas presentes em um ambiente associada a velocidade de emergência destas plantas daninhas, são a garantia de sobrevivência de uma espécie.

O índice de velocidade de emergência (IVE) das espécies e dos biótipos de *Amaranthus* estudados variou significativamente quando as sementes foram submetidas a diferentes métodos de superação de dormência (Tabela 1). Para o *A. viridis* a escarificação mecânica apresentou o maior IVE, que proporcionou aumento de 6,93 no IVE em relação à testemunha e sua emergência foi quatro vezes mais rápida do que a da embebição prolongada.

Figura 1 - Germinação de plântulas de espécies de *Amaranthus* e biótipo resistente ao herbicida imazetapir. Passo Fundo - 2017



Para a espécie *A. lividus* a embebição prolongada e a escarificação mecânica não diferiram estatisticamente entre si, proporcionando um aumento em relação à testemunha de 6,71 e 5,10 no IVE, respectivamente. Já o IVE do *A. spinosus* na escarificação

mecânica e na testemunha não diferiram, mas foram superiores aos demais com IVE 3,8 maior do que a embebição prolongada e a escarificação química. Para essa espécie o método de embebição prolongada e escarificação química prejudicaram a emergência das plântulas, reduzindo o IVE em 2,3 em relação à testemunha. A redução corresponde a 95% na velocidade de emergência. Além disso, o pré-resfriamento inviabilizou em 100% a germinação das sementes de *A. spinosus*.

O IVE do *A. hybridus* não apresentou diferença entre a testemunha e os tratamentos, com exceção da escarificação química onde não se observou a germinação das sementes. Destaca-se que no *A. retroflexus* biótipo suscetível ao imazetapir todos os tratamentos, inclusive a testemunha, apresentaram IVE abaixo de 1, fato que não se repetiu em nenhuma das outras espécies ou biótipo estudados. No entanto, o IVE de escarificação mecânica desse biótipo não se diferenciou da testemunha ou dos demais tratamentos, com exceção da escarificação química que reduziu 0,91 o IVE em relação à escarificação mecânica. Todavia, o biótipo resistente não apresentou o mesmo comportamento do suscetível, o qual apresentou elevação significativa no IVE quando submetido à embebição prolongada, sendo seu IVE cerca de 3 vezes do que o IVE da testemunha e escarificação mecânica. A escarificação mecânica influenciou a superação de dormência de algumas espécies *A. viridis*, *A. lividus* e *A. retroflexus* biótipo suscetível (Tabela 1), pois o IVE elevou-se expressivamente nestes casos.

A escarificação mecânica apresentou influência sobre a superação de dormência de algumas espécies *A. viridis*, *A. lividus* e *A. retroflexus* biótipo suscetível (Tabela 1), pois o IVE elevou-se expressivamente nestes casos. Outras pesquisas também apontam a escarificação mecânica do tegumento como a mais eficaz. Contudo, também mostram que a escarificação química com diferentes concentrações de acetona, etanol, etileno, peróxido de hidrogênio, cianeto de potássio e ácido sulfúrico para realizar a superação de dormência das sementes de *Amaranthus* e promover a germinação (SOOMARIN; ALIPOOR e MAHMOODABAD, 2010; KENDRICK; KEPCZYŃSKA e BIHUN, 2003). Os dados obtidos neste estudo discordam desta afirmação, sendo que a escarificação química reduziu expressivamente o IVE. O IVE determina a velocidade de estabelecimento das plântulas, e isto é importante no processo competitivo, sendo que a

planta que se estabelecer primeiro terá maior habilidade para competir (FLECK et al., 2003).

Tabela 1- Índices de velocidade de emergência (IVE) de plântulas de espécies de *Amaranthus* submetidas a tratamentos para superar a dormência das sementes. Passo Fundo - 2017

Tratamentos	Índice de velocidade de emergência					
	A. <i>viridis</i>	A. <i>lividus</i>	A. <i>spinosus</i>	A. <i>hybridus</i>	A. <i>retroflexus</i> suscetível ²	A. <i>retroflexus</i> resistente ²
Escarificação mecânica	10,46 a ¹	6,87 ab	3,94 a	6,89 a	0,96 a	7,64 b
Embebição prolongada	2,38 b	8,48 a	0,12 b	6,65 a	0,29 ab	19,40 a
Pré-esfriamento	2,13 b	1,25 c	0,00 b	7,04 a	0,34 ab	7,06 b
Escarificação química	0,62 b	3,20 bc	0,13 b	0,00 b	0,05 b	6,78 b
Testemunha	3,53 b	1,77 c	2,41 a	6,29 a	0,73 ab	6,65 b
Coefficiente de variação (%)	81,63	50,76	57,79	25,20	83,87	24,80

¹ Médias seguidas de letras distintas, comparadas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ² Ao herbicida Imazetapir.

A resposta do potencial de germinação das sementes aos métodos de dormência na presença de luz variou de acordo com a espécie (Tabela 2). O potencial de germinação de *A. viridis* no método escarificação mecânica, apesar de apresentar o maior valor, não diferiu da testemunha e da embebição prolongada. Porém, em relação à escarificação e ao pré-esfriamento, a escarificação mecânica proporcionou aumento na germinação dessa espécie de 72 e 95%, respectivamente. Por outro lado, o método de escarificação química reduziu em mais de 90% a germinação de *A. viridis*, em relação à testemunha. Já para o *A. lividus*, os métodos embebição prolongada e escarificação mecânica se destacaram com o maior potencial de germinação, caracterizando um incremento de aproximadamente 75%. No *A. spinosus*, a escarificação mecânica apresentou-se superior a todos os tratamentos avaliados, com potencial de germinação 60% superior ao da testemunha. A escarificação química reduziu em cerca 85% o potencial de germinação dessa espécie, enquanto a embebição prolongada e o pré-resfriamento inviabilizaram, respectivamente, em 97 e 100% a germinação de *A. spinosus*. Da mesma forma, a escarificação química inviabilizou a germinação das sementes de *A. hybridus*. O maior potencial de germinação alcançado nessa espécie foi próximo à 50% com a escarificação mecânica, mas não houve

diferença dos demais métodos de superação de dormência. No biótipo suscetível de *A. retroflexus* se identificou que o método de escarificação física apresentou a maior porcentagem de germinação, 92% superior à da escarificação química, todavia não diferiu dos demais. Já no biótipo resistente, a embebição prolongada apresentou potencial de germinação acima de 85%, que se mostrou cerca de 50% superior aos demais tratamentos.

Tabela 2 - Potencial de germinação com a presença de luz de sementes de espécies de *Amaranthus* submetidas a tratamentos para superação de dormência. Passo Fundo - 2017

Tratamentos	Potencial de germinação (%) com luz					
	<i>A. viridis</i>	<i>A. lividus</i>	<i>A. spinosus</i>	<i>A. hybridus</i>	<i>A. retroflexus</i> suscetível	<i>A. retroflexus</i> resistente ³
Escarificação mecânica	54,00 a ¹	42,50 a	39,50 a	46,50 a	6,00 a	44,50 b
Embebição prolongada	19,5 abc	46,0 a	0,50 c	40,00 a	2,00 ab	86,00 a
Pré-resfriamento	15,0 bc	7,50 b	0,00 c	41,50 a	3,50 ab	45,50 b
Escarificação química	2,50 c	28,0 ab	2,50 c	0,00 b	0,50 b	45,50 b
Testemunha	36,0 ab	11 b	16,00 b	34,50 a	5,00 ab	44,5 b
Coeficiente de variação (%)	26,78 ²	28,93	19,78	15,62	31,24	12,65

¹ médias seguidas de letras distintas, comparadas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).² Dados transformados em $\sqrt{(x+k)/2}$ com $k = 0,5$. ³ resistente ao herbicida Imazetapir.

A resposta para potencial de germinação das sementes com superação de dormência na presença ou ausência de luz variou de acordo com a espécie testada (Tabela 2 e 3). Na visão de Mondo et al. (2010) a luz é um importante elemento no processo de germinação de sementes, pois várias espécies possuem fotoblástia. Sendo assim necessitam de luz ou ausência dela para induzir o processo de germinação. Variáveis como intensidade, comprimento de onda e fotoperíodo são descritas como elementos que influenciam na superação de dormência primária, permitindo assim a ativação dos fitocromos e a indução há germinação de sementes. A luz interfere diretamente na conversão do fitocromo da sua forma inativa para a ativa, esta desencadeia a síntese de giberelinas (GA) (TOYOMASU et al., 1998). Sabe-se que a acumulação imediata de conteúdo de GA influencia na promoção da germinação, pois esta causa a ativação da síntese de enzimas essenciais à degradação das reservas e por consequência causa o afrouxamento da parede celular, aumento do potencial de crescimento das células

embrionárias, influenciando assim na elevação do potencial de germinação (BATLLA; BENECH-ARNOLD, 2015).

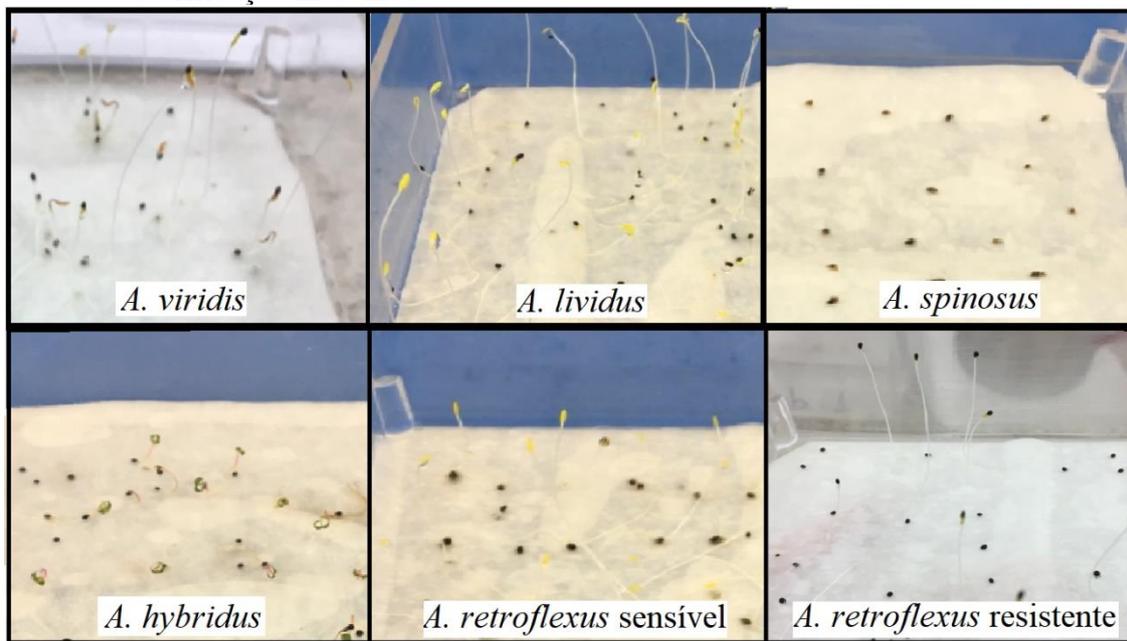
Nota-se variação expressiva na superação de dormência entre *A. retroflexus* biótipo suscetível e resistente ao imazetapir, o biótipo suscetível possui a menor taxa de germinação observada, em relação aos demais. A variação entre os biótipos de *A. retroflexus*, pode estar correlacionado a redução da expressão dos mecanismos de dormência. *Amaranthus* possui ampla diversidade genética entre indivíduos, isto ocorre em virtude da presença de diferentes grupos de genes, o que caracteriza diferentes genótipos dentro de uma população, mesmo na população resistente ao herbicida imazetapir. A variabilidade impacta em adaptação há diferentes ambientes, quanto maior a variação de genes maior será a probabilidade de expressão de genes que possibilitem a sobrevivência em ambientes hostis (WARD; GASKIN; WILSON, 2008; CAETANO; CORTEZ, 2014). Com a seleção do biótipo resistente ocorre a garantia de sobrevivência, então a dormência deixa de ser um fator crucial. Assim, acreditasse que este biótipo possua menor taxa de dormência, isso também pode ser evidenciado pelo maior IVE observado na Tabela 1.

Denota-se então que o efeito da escarificação mecânica associado a presença de luz influenciou na superação de dormência em duas das espécies testadas (Figura 2). Obteve-se aumento do potencial de germinação em *A. lividus* este resultado corrobora com Vivian et al. (2008) que apontam que sementes que possuem dormência mecânica possui impedimento na transferência de elementos, pela presença de camadas simples ou duplas lignificadas. A escarificação mecânica faz a remoção de parte desta camada, permitindo a absorção de água e passagem da luz, influenciando assim, na elevação do potencial de germinação. A priori se esperava que todos os métodos de superação causassem tal benefício na superação de dormência, no entanto, a escarificação química causou redução expressiva em quase todas as espécies. Chegando a casos extremos como no *A. hybridus*, que reduziu 100% o potencial de germinação (Tabela 2).

Na condição de ausência de luz ocorreu variação significativa no potencial de germinação de *Amaranthus* (Tabela 3). As espécies de *A. viridis* e *A. spinosus*

apresentaram maior potencial de germinação, quando suas sementes foram submetidas a escarificação mecânica em relação a todos os demais tratamentos.

Figura 2- Plântulas de *Amaranthus*, germinadas após terem sido submetidas a escarificação mecânica.



A escarificação mecânica e o pré-resfriamento proporcionaram, respectivamente, aumento e redução de 75% na germinação de *A. viridis*. Já em *A. spinosus*, o aumento no potencial de germinação com a escarificação mecânica foi de 95%, mas mesmo assim, sua germinação ficou abaixo de 15%. Para *A. lividus* e *A. retroflexus* biótipo resistente identificou-se que o pré-resfriamento reduziu, respectivamente, em 94 e 100% o potencial de germinação, enquanto os demais tratamentos não influenciam significativamente. Destaca-se que em *A. lividus* além do pré-resfriamento, nos demais tratamentos o potencial de germinação foi alto, variando em torno de 70 e 80%. A escarificação mecânica e a embebição prolongada proporcionaram aumento de aproximadamente 80% na germinação de *A. retroflexus* biótipo resistente. O potencial de germinação em *A. hybridus* não apresentou diferença entre a testemunha e os tratamentos, no entanto, destaca-se que a escarificação química inviabilizou a germinação nessa espécie. Em *A. retroflexus* biótipo suscetível ao herbicida imazetapir se identificou que o potencial de

germinação do método de escarificação mecânica não difere da embebição prolongada, e estes mostraram-se superiores aos demais métodos de superação de dormência avaliados.

Tabela 3 - Potencial de germinação sem a presença de luz de sementes de espécies de *Amaranthus* submetidas a tratamentos de superação de dormência. Passo Fundo – 2017

Tratamentos	Potencial de germinação (%) sem Luz					
	<i>A. viridis</i>	<i>A. lividus</i>	<i>A. spinosus</i>	<i>A. hybridus</i>	<i>A. retroflexus</i> suscetível ³	<i>A. retroflexus</i> resistente ³
Escarificação mecânica	72,5 a ¹	79,5 a	11,0 a	50,5 a	45,0 a	39,5 a
Embebição prolongada	20,5 b	77,0 a	0,00 b	39,0 a	49,5 a	52,0 a
Pré- resfriamento	12,0 bc	4,50 b	0,00 b	25,5 ab	0,00 b	0,00 b
Escarificação química	4,50 c	69,5 a	0,50 b	0,00 b	1,50 b	24,5 a
Testemunha	18,0 b	71,0 a	0,50 b	25,5 ab	10,0 b	35,0 a
Coefficiente de variação (%)	14,72 ²	12,64	24,5	50,56	42,45	30,38

¹ médias seguidas de letras distintas, comparadas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ² Dados transformados em $\sqrt{x+k}$ com $k = 0,5$. ³ Ao herbicida Imazetapir.

A luminosidade causa variação no potencial de germinação, isso fica claro quando se observa as Tabelas 2 e 3. Para *A. spinosus* e *A. retroflexus* biótipo resistente observou-se influência positiva pela presença de luz, constatou-se a elevação geral de 46,5 e 115% no potencial de germinação respectivamente, com relação ao segundo experimento sem luminosidade. Assim sendo, pode-se dizer que estas espécies são fotoblásticas positivas, visto que a associação de quebra de dormência com exposição a luz elevou o potencial de germinação. Efeito contrário foi identificado para *A. lividus* e *A. retroflexus* biótipo suscetível que elevou o potencial de germinação sem a presença de luz em 116% e 89%, pode-se caracterizar essas espécies como fotoblásticas negativas. As demais espécies não expressaram variação, Carvalho e Christoffoleti (2007), também identificaram que *A. viridis* e *A. hybridus* são indiferentes a luz, consolidando-se como fotoblásticas neutras. O estudo revelou diferenças na expressão de dormência de sementes e sensibilidade a pré-tratamentos para superação da dormência. As diferenças apontam que existe diferenciação genética entre as espécies por exemplo de *A. hybridus* e *A. retroflexus*, provenientes de ambientes semelhantes. Além disso, os resultados indicaram dois tipos

de respostas ao ácido giberélico (GA3) em sementes positivamente fotoblásticas. Em um tipo, o GA3 substituiu os requisitos de luz para a germinação de sementes. No segundo tipo, luz e GA3 foram sinérgicos na quebra da dormência das sementes.

O *A. retroflexus* biótipos suscetível e resistente ao herbicida imazetapir apresentaram variação em seu comportamento, isso pode estar ligado a redução do nível de dormência. Uma vez que o uso repetitivo de herbicidas tem selecionado biótipos resistentes. As plantas resistentes já possuem uma via de escape para se desenvolver e reproduzir, ao longo do ciclo produtivo anual, então válvulas de escape tornam-se desnecessárias. Então acredita-se a partir dos dados deste estudo que as plantas resistentes possuem menor nível de elementos que influenciem em dormência. A variação entre biótipos suscetíveis e resistentes já foi relatado em pesquisas com outras espécies, como *Lolium multiflorum* Lam. que apresenta variação na taxa de dormência entre biótipos sensíveis e resistentes a herbicida (GUNDEL; MARTÍNEZ-GHERSA; GHERSA, 2008). Portanto, sementes amadurecidas em diferentes condições sazonais experimentam diferentes condições de pré-dispersão e pós-dispersão, têm diferentes graus de dormência, têm diferentes requisitos de germinação e podem germinar em diferentes condições ambientais e épocas do ano (DONOHUE et al., 2008). Esta variação não se deve a alteração genética de resistência, mas sim, a seleção de alterações fenotípicas (GUNDEL; MARTÍNEZ-GHERSA; GHERSA, 2008). Sabe-se que vários fatores ambientais atuam como sinais indicando se as condições para o estabelecimento das plantas, são adequadas. A quantidade de luz e à amplitude das mudanças diárias de temperatura podem atuar como neste sentido (VRANCKX; VANDELOOK, 2012).

Como pode ser observado nas Tabelas 2 e 3 algumas espécies submetidas aos tratamentos de superação de dormência não diferenciaram da testemunha, a ausência de variação pode ter sido causada este pela temperatura alternada, que já é uma forma de estímulo e superação de dormência. A germinação de sementes de plantas daninhas e o tempo de emergência são afetados pela temperatura (STECKEL et al., 2004). A variação de temperatura impacta na elevação do percentual de germinação final em relação ao obtido sob regime de temperatura contínua. Então, cada vez que um ciclo de temperatura variável ocorrer, irá estimular a população de sementes latentes, a germinar (BATLLA;

BENECH-ARNOLD, 2015). Carvalho e Christoffoleti (2007) em seus estudos apontam que a luz e a temperatura influenciam na germinação de espécies de *Amaranthus*, em seus estudos as maiores taxas e velocidades de germinação foram obtidas em condição de fotoperíodo com alternância de temperatura (8 horas de luz a 30 °C/16 horas de escuro a 20 °C). Ressalta-se que este aumento na taxa de germinação eleva as infestações, em áreas agrícolas, este fato, associado a resistência de plantas daninhas ao herbicida imazetapyr eleva a dificuldade de manejo e controle das plantas de *Amaranthus* que infestam as culturas de interesse agrônômico. Mas a partir dos resultados apresentados neste estudo pode-se inferir que se a taxa de dormência é inferior nos biótipos resistentes, então isto propicia uma alternativa viável de manejo cultural. Pode-se retardar a semeadura das culturas de interesse agrônômico permitindo que ocorra a germinação das plantas infestantes e realizar o controle destas com herbicidas de amplo espectro.

1.4 Conclusões

O máximo potencial de germinação foi alcançado primeiramente por *A. viridis*, seguido por *A. lividus*, *A. spinosus*, *A. hybridus*, *A. retroflexus* biótipo suscetível e biótipo resistente respectivamente. O IVE foi influenciado pela escarificação mecânica elevando o índice principalmente para *A. viridis*, *A. lividus* e *A. retroflexus* biótipo suscetível.

Se obteve superação da dormência para *A. viridis* associando falta de luz com escarificação mecânica; *A. lividus* embebição prolongada e escarificação mecânica sem a presença de luz; *A. spinosus* escarificação mecânica nas duas situações de luminosidade; *A. hybridus* não respondeu a nenhum dos tratamentos; *A. retroflexus* biótipo suscetível escarificação mecânica e embebição prolongada, associadas a falta de luz; *A. retroflexus* biótipo resistente embebição prolongada associado a presença de luz.

A variação na forma de superação da dormência e no tempo indica a grande variabilidade no estabelecimento a campo, o que vem a garantir infestações tardia.

4 CAPÍTULO II

Morfologia e fenologia de espécies de *Amaranthus* spp

4.1 Resumo

Espécies de *Amaranthus* tem ganhado espaço entre as principais plantas daninhas de interferência em áreas agrícolas, isto porque possui elevada habilidade competitiva, mecanismo fotossintético C4, e apresenta resistência a diferentes herbicidas. Na contemporaneidade a resistência aos herbicidas inibidores de ALS tem-se elevado, principalmente pela escolha incorreta do método de controle. Diversas informações são cruciais para a correta escolha do método, conhecimento sobre a fenologia, morfologia, crescimento e desenvolvimento. Este estudo possui como hipótese que se existir variação no crescimento, desenvolvimento, das diferentes espécies e biótipos de *Amaranthus*, então a habilidade competitiva entre as espécies biótipos e as culturas agrícolas são variadas. Objetivou-se identificar quais são as variações fenológicas, morfológicas e de crescimento e desenvolvimento das espécies de *Amaranthus* que lhes conferem capacidade competitiva com relação as demais espécies agrícolas cultivadas. Os experimentos foram conduzidos entre março de 2016 e maio de 2017, tendo como unidades experimentais vasos plásticos com capacidade de 15 L. O experimento I e II é descritivo, o experimento III é explicativo. Os experimentos foram implantados em delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições. Os tratamentos foram compostos por: *A. viridis*, *A. lividus*, *A. spinosus*, *A. hybridus*, *A. retroflexus* suscetível e *A. retroflexus* resistente ao herbicida Imazetapir, com seis repetições. Ocorreu variação fenológica entre as espécies o *A. lividus* foi a espécie com menor ciclo vegetativo mais curto seguido pelo *A. viridis*. Os demais *A. hybridus*, *A. spinosus* e os dois biótipos de *A. retroflexus* não diferiram, sendo os mais lentos. O biótipo de *A. retroflexus* suscetível a imazetapir acumulou maior quantidade de massa seca, principalmente nas hastes e flores, seguido pelo *A. hybridus*, *A. spinosus*, *A. viridis*, *A. retroflexus* biótipo resistente e *A. lividus*. Acredita-se que este é o principal fator que confere a superioridade destas com relação aos cultivos agrícolas.

Palavras-chave: 1. *Amaranthus viridis*. 2. *Amaranthus lividus*. 3. *Amaranthus spinosus*. 4. *Amaranthus hybridus*. 5. *Amaranthus retroflexus*.

4.2 Introdução

Inúmeras espécies são descritas como plantas daninhas, mas entre as mais discutidas na contemporaneidade está o gênero *Amaranthus* (VAZIN et al., 2012). No Brasil são registradas vinte espécies nativas, dentre as quais 11 encontram-se no Rio Grande do Sul (MARCHIORETTO et al., 2020). No Rio Grande do Sul, encontram-se *A. viridis* L., *A. deflexus* L., *A. spinosus* L., *A. hybridus* L., *A. cruentus* L., *A. muricatus* L., *A. rosengurtii* L., *A. blitum* L. e *A. retroflexus* L. (MARCHIORETTO, 2014).

As espécies de *Amaranthus* apresentam elevada habilidade competitiva com as culturas de interesse agrícola. Isso se deve à habilidade de adaptação e tolerância à seca,

pela elevada capacidade de adaptação osmótica (1,08-1,24 MPa), o que garante que as plantas continuem fotossinteticamente ativas mesmo em condições de seca prolongada (LIU; STÜTZEL, 2002a). Esta característica é oriunda do mecanismo fotossintético C4. Como a concentração interna de CO₂ é maior, a planta abre menos vezes os estômatos ao longo do dia, reduzindo a perda de água por transpiração (TAIZ; ZEIGER, 2013). Em condições de estresse hídrico o *Amaranthus* reduz a taxa de expansão foliar, reduzindo a massa seca da área foliar e condutância estomática evitando a desidratação dos tecidos foliares (LIU; STÜTZEL, 2004). Entre as espécies de *Amaranthus* há evidências de biótipos resistentes a alguns mecanismos de ação como: inibidores de fotossistema II, inibidores de protox, inibidores da síntese de EPSPs, inibidores de auxinas e inibidores de acetolactato sintase (ALS) (HEAP, 2020). O número de relatos de deficiência de controle dos herbicidas ALS eleva-se verticalmente, torna-se essa espécie um grande problema para os produtores agrícolas.

Estudos sobre o crescimento, desenvolvimento e caracterização da morfologia das plantas daninhas fornecem informações sobre os diferentes estádios fenológicos, padrões de crescimento vegetal que permitem a produção de chaves dicotômicas. Os resultados permitem a análise do comportamento das plantas perante os fatores ecológicos, bem como sua ação sobre o ambiente, principalmente quanto a sua interferência sobre outras plantas, o que pode contribuir para o desenvolvimento de sistemas de manejo integrado de plantas daninhas (BIANCO et al., 1995; CARVALHO et al., 2008).

O uso de análises de crescimento e descrição morfológica ainda são os meios mais simples e precisos para inferir a contribuição de diferentes processos para o crescimento vegetal, tornando possível o conhecimento da cinética de produção de biomassa das plantas, sua distribuição e eficiência ao longo da ontogenia (BENINCASA, 1988; RADOSEVICH et al., 1997). Sendo que o conhecimento sobre a produção de massa seca total bem como o acúmulo da área foliar são reconhecidos como processos básicos do crescimento vegetal.

Os estudos que buscam caracterizar o ciclo fenológico, a morfologia, avaliar o crescimento e o desenvolvimento de espécies de *Amaranthus*; tornam-se fundamentais para gerar informações para a tomada de decisão quanto as melhores práticas de manejo.

A hipótese do trabalho é que se existir variação no crescimento, desenvolvimento, das diferentes espécies e biótipos de *Amaranthus*, então a habilidade competitiva entre as espécies e as culturas agrícolas são variadas. O objetivo geral é identificar quais são as variações fenológicas e morfológicas de crescimento e desenvolvimento das espécies de *Amaranthus* que lhes conferem capacidade competitiva com relação as demais espécies agrícolas cultivadas.

4.3 Material e Métodos

4.3.1 Delineamento experimental

Os experimentos foram conduzidos entre março 2016 a maio de 2017. O trabalho foi desenvolvido em sistema vertical de organização. O experimento I e II é descritivo, o experimento III é explicativo. Os experimentos foram implantados em delineamento inteiramente casualizado.

4.3.2 Procedimentos

a) Experimento I – Caracterização fenológica de *Amaranthus* sp.

As plantas foram cultivadas em vasos, em casa de vegetação no período de fevereiro a abril de 2017. Os tratamentos foram compostos pelas diferentes espécies de *Amaranthus* pré-selecionadas: *A. viridis* L., *A. lividus* L., *A. spinosus*, *A. hybridus* L., *A. retroflexus* L. suscetível e *A. retroflexus* L. resistente aos herbicidas inibidores de ALS, com seis repetições.

As s espécies foram semeadas em vasos de com 27 cm de diâmetro e 35 cm de altura, preenchidos com substrato comercial do tipo Turfa Fértil®. Foram semeadas dez

sementes por vaso e, quando as plantas atingiram o estágio de duas folhas verdadeiras (V2), realizou-se o desbaste mantendo-se somente uma planta por vaso. A irrigação foi realizada manualmente, mantendo a capacidade de campo durante o ciclo de cultivo. As avaliações se iniciaram no dia de semeadura. Realizou-se acompanhamento diário do desenvolvimento fenológico, anotando-se o período em dias para a formação de novas estruturas.

b) Experimento II- Caracterização morfológicas de *Amaranthus* spp.

O experimento foi implantado em casa de vegetação no período de dezembro a maio de 2017. As plantas foram cultivadas em vasos, foram semeadas dez sementes por vaso e, quando as plantas atingiram o estágio V2, realizou-se o desbaste mantendo-se somente uma planta por vaso. Utilizou-se as mesmas espécies e condições de manejo do experimento A.

Realizou-se avaliações de dez em dez dias até os 50 dias. Foi identificado e aferidas todas as estruturas morfológicas folhas, caule, flores, frutos e raízes. Os detalhes morfológicos foram fotografados com uma câmera digital Sony Cybershot H7. Após o material coletado foi herborizado conforme procedimentos usuais (MORI et al. 1985) e depositado no Herbário RSPF (Apêndice 1).

c) Experimento III- Crescimento e desenvolvimento de espécies de *Amaranthus*

O experimento foi realizado entre março e maio de 2017. As plantas foram cultivadas em vasos, em casa-de-vegetação. Os tratamentos foram compostos pelas espécies e biótipo *Amaranthus viridis*, *Amaranthus lividus*, *Amaranthus spinosus*, *Amaranthus hybridus*, *Amaranthus retroflexus* suscetível e *Amaranthus retroflexus* resistente aos herbicidas inibidores de ALS.

Realizou-se avaliações aos 10, 20, 30, 40 e 50 dias após a emergência. Avaliou-se massa seca total; estatura; área foliar; número de folhas primárias, número de folhas secundárias, número de folhas totais; número de ramificações primárias; número de

ramificações secundárias; número de ramificações totais; comprimento da folha; comprimento da haste foliar; número de inflorescências primárias; número de inflorescências secundárias; número de inflorescências totais e volume da raiz.

4.3.3 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos a estatística descritiva através da medida de posição para o experimento I e II. Para o experimento III realizou-se análise de correlação entre os dados utilizando-se o teste de coeficiente de correlação de Pearson. As variáveis estatura, número de folhas, área foliar, comprimento foliar e massa seca foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste F. Na ocorrência de efeitos significativos, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

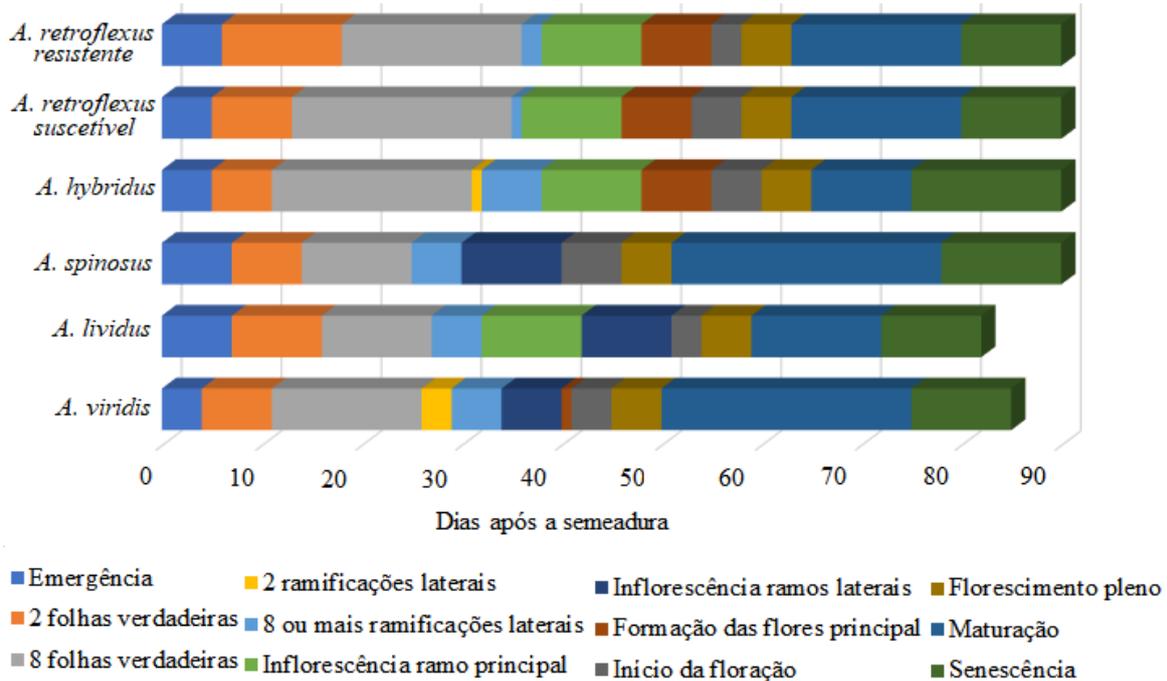
4.4 Resultados e Discussão

Existe variabilidade entre a fenologia das espécies (Figura 1). Percebe-se que o *A. viridis* e *A. hybridus* emergem e se estabelecem atingindo o estágio V2 em apenas 10 DAS (dias após a semeadura). A precocidade fica evidente quando comparados com o biótipo de *A. retroflexus* resistente ao herbicida imazetapir que leva 27 DAS para se equiparar. O rápido estabelecimento dá a estas espécies, a possibilidade de explorar os recursos disponíveis primeiro, garantindo assim maior habilidade em competir com as plantas que se estabelecerem depois. Observa-se em um estudo realizado por Knezevic et al., (2017) que quando a planta daninha emerge rapidamente esta leva vantagem na competição com sorgo (*Sorghum bicolor* L.), constatando-se perdas significativas na produção de sorgo quando o *A. retroflexus* emergiu antes da cultura atingir o estágio V5.

Inesperadamente se observa variação expressiva entre os biótipos de *A. retroflexus*, isto porque os dados apontam que o biótipo suscetível atinge o estágio V2 seis dias antes que o biótipo resistente, ou seja, neste momento do desenvolvimento o biótipo suscetível apresenta maior velocidade de expansão foliar. Entretanto os dois biótipos atingem o estágio V8 em mesma época aos 35 DAS. Esta informação é de suma importância, pois deixa claro que o impacto comportamental está diretamente

correlacionado a fisiologia da semente. Estudos anteriores (Capítulo I) mostraram que existe significativa variação entre o índice de velocidade de germinação de sementes de biótipos suscetível e resistente de *A. retroflexus*, o biótipo suscetível é 7,95 vezes mais lento que o biótipo resistente, isto pode elucidar o comportamento apresentado.

Figura 1- Escala fenológica de *Amaranthus viridis*, *Amaranthus lividus*, *Amaranthus spinosus*, *Amaranthus hybridus*, *Amaranthus retroflexus* biótipo suscetível e resistente ao herbicida Imazetapir, inibidor da ALS, Passo Fundo- RS, 2017



Na floração as diferenças morfológicas entre as plantas avaliadas se acentuam, o *A. viridis*, *A. lividus* e *A. spinosus* alongam rapidamente seus ramos laterais, expondo várias inflorescências. Ao mesmo tempo observa-se a exposição das primeiras estruturas reprodutivas na haste apical (Figura 1). Entretanto todas as espécies já apresentam estruturas reprodutivas aos 35 DAS. O florescimento pleno ocorre aos 45 DAS para *A. spinosus*, seguido por *A. viridis* aos 47 DAS, *A. lividus* aos 53 DAS, *A. retroflexus* aos 55 DAS, independente do biótipo estudado e *A. hybridus* aos 58 DAS. As plantas que florescerem primeiro possuem maiores chances de se perpetuar em ambientes adversos, isso porque independentemente da situação ambiental esta conseguirá deixar descendentes viáveis. Acredita-se que a capacidade competitiva está diretamente

correlacionada com a capacidade que uma planta possui em se estabelecer e multiplicar-se em ambiente não adequado, com condições ambientais e climáticas desfavoráveis. Esta capacidade é dada por atributos funcionais da planta (ZHANG; LAMB, 2012). Como velocidade de utilização do espaço físico, expansão do sistema radicial e foliar.

Obteve-se que *A. lividus* possui relativa precocidade perante as demais espécies e biótipos analisados neste estudo. Levando em consideração a data cronológica de início e final do ciclo de desenvolvimento as espécies se comportaram da seguinte maneira, *A. lividis* apresentou o menor ciclo como apontado anteriormente, somando 81 DAS da germinação a senescência, já o *A. viridis* levou 84 DAS para chegar a mesma fase, esta obteve um comportamento intermediário, pois todas as demais só encerraram seu ciclo aos 90 DAS (Figura 1). Em estudo semelhante Carvalho et al. (2008) relatam que *A. retroflexus* possui o ciclo mais lento, ou seja, leva maior tempo para realizar a transferência de fase fenológica com relação ao *A. deflexus*, *A. hybridus*, *A. retroflexus*, *A. viridis* e o *A. spinosus*. Apesar desta variação a plena maturação e dispersão das sementes ou frutos e início de senescência de todas as plantas são atingidas entre 80 e 90 DAS (CARVALHO et al., 2008).

O fato é que a diferenciação entre as espécies de *Amaranthus* é extremamente difícil, principalmente na contemporaneidade, isso porque os caracteres distintivos entre as espécies são pequenos e de difícil visualização a olho nu. Além disso ainda se tem o problema de ampla distribuição geográfica e formação de grande número de híbridos (COSTEA; DEMASOM, 2001). Entretanto, Marchioretto (2014), montou uma chave dicotômica descrevendo as principais espécies presentes no Rio Grande do Sul.

As chaves dicotômicas descritivas normalmente são complexas, isso porque demandam que o indivíduo que a utiliza tenha amplo entendimento sobre a morfologia, seus caracteres e nomes específicos. É uma utopia acreditar que os produtores possam utilizar uma dessas chaves para identificar a espécie de *Amaranthus* presente em sua lavoura, então este estudo propôs um guia ilustrado de imagens de elementos morfológicos (Figura 2).

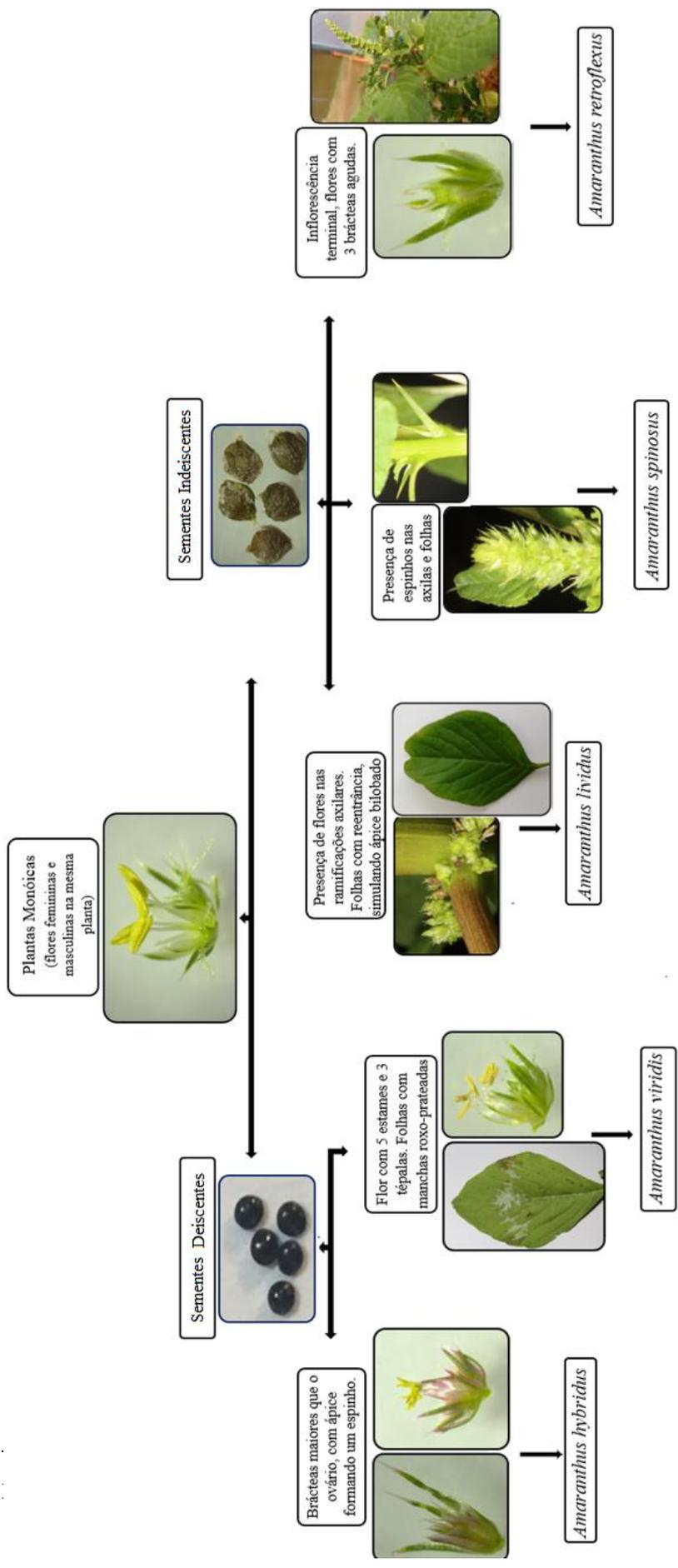


Figura 2– Guia ilustrado de *Amaranthus viridis*, *Amaranthus lividus*, *Amaranthus spinosus*, *Amaranthus hybridus*, *Amaranthus retroflexus* biótipo suscetível e resistente aos herbicidas inibidores da ALS, Passo Fundo- RS, 2017

Este guia ilustrado foi baseado na chave dicotômica de Marchioretto (2014), permitindo assim que o produtor consiga realizar e/ou ter um indicativo de qual é a espécie que está infestando a sua área de produção agrícola.

Quando se correlacionou alguns dos caracteres de desenvolvimento do *Amaranthus*, obteve-se grande variabilidade. Identificou-se correlação positiva entre algumas das variáveis avaliadas para *A. viridis*, área foliar e número de ramificações secundárias, área foliar e número de ramificações totais, número de inflorescências secundárias e número de inflorescências totais; número de inflorescências secundárias e volume de raiz; número de inflorescências totais e volume de raiz (Apêndice II). Então quando uma dessas variáveis aumenta concomitantemente ocorre a elevação da outra, torna-se evidente que com o aumento das ramificações ocorre a elevação do número de folhas e inflorescências, por consequência ocorre a elevação no volume de raiz. Este aumento é necessário para manter estável e ereta a parte aérea, se não ocorresse a compensação a estabilidade da parte aérea teria sido comprometida e possivelmente a planta caísse. Correlações negativas fortes ($> 0,6$) também foram encontradas entre, massa seca total e estatura, massa seca total e número de ramificações primárias, número de folhas secundárias e comprimento da haste foliar, número de folhas totais e comprimento da haste foliar (Apêndice II). Isto indica que dois fatores se movem em perfeita proporção, mas em direções opostas, ou seja, quando um deles aumenta o outro reduz. Dentre estes fatores, vale a pena chamar a atenção para o impacto causado pelo aumento do número de folhas da planta, este fator impacta na redução do comprimento da haste foliar (-0,99*).

Para *A. lividus* as correlações lineares foram positivas para as variáveis massa seca e estatura, área foliar e número de ramificações secundárias e totais; número de inflorescências secundárias e número de inflorescências totais, número de inflorescências secundárias e volume da raiz, número de inflorescências totais e volume da raiz (Apêndice III). Pode-se deduzir que este comportamento está diretamente ligado a elevada capacidade de ramificação (Figura 3). Correlação negativa para massa seca total e número de ramificações primárias, número de folhas secundárias e totais e comprimento da haste (Apêndice III). Isto caracteriza que ocorre gasto energético expressivo na

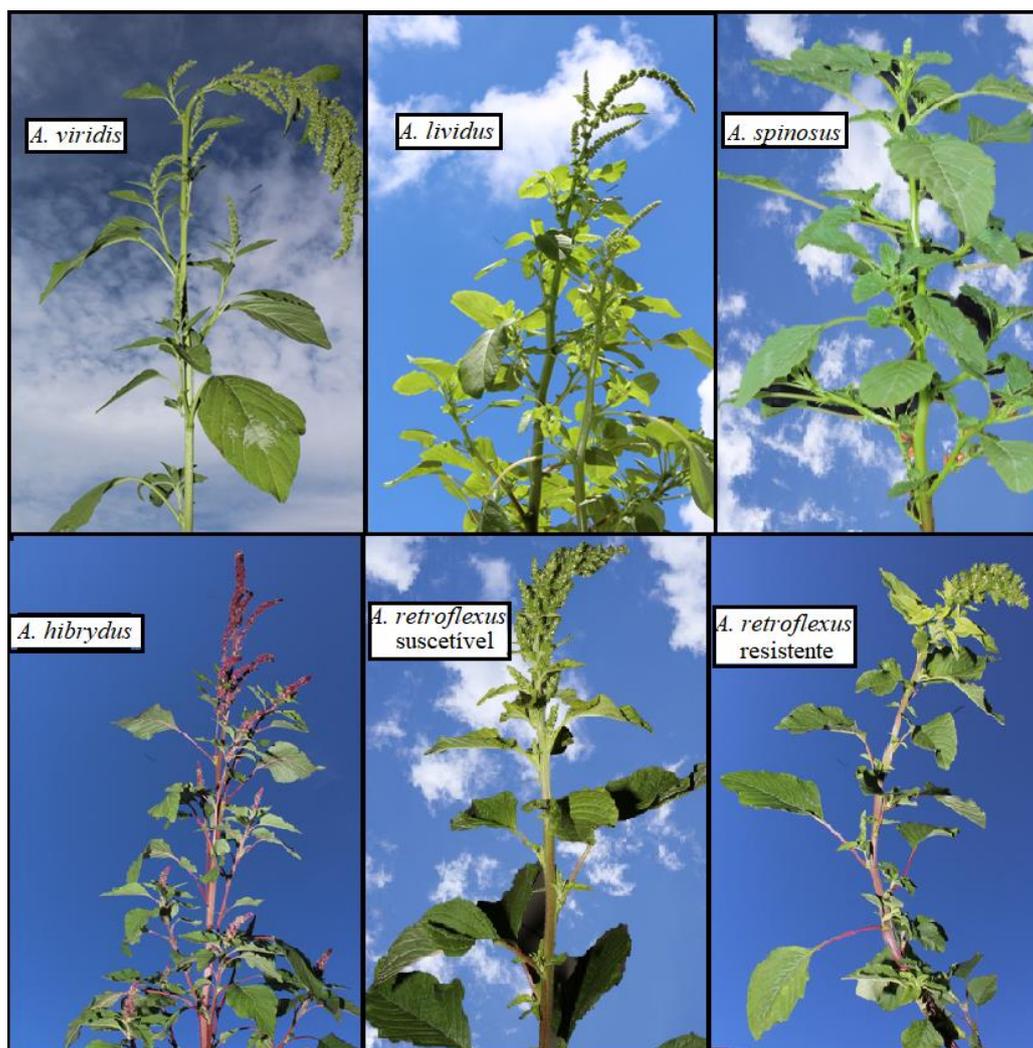
formação de ramificações primárias, o que reduz o aporte de energia voltado a produção de folhas, assim sendo, quando um fator aumenta os demais reduzem proporcionalmente.

As espécies testadas caracterizaram-se por serem anuais, de reprodução monóica, com flores extremamente pequenas, e expostas em locais separados ficando as masculinas nas pontas da inflorescência e as femininas na base. As inflorescências são eretas e apresentam reflexão no ápice pelo expressivo peso, exceto em *A. hybridus* que se mantém ereta independentemente do tamanho e peso das sementes, ou seja, não apresenta angulação. Observa-se que são ervas ou subarbustos eretos a única exceção entre as espécies testadas é o *A. spinosus* que se diferencia neste quesito por ser prostrado. Entretanto as demais características morfológicas observadas variaram amplamente entre as espécies (Figura 3).

O *A. viridis* apresenta folhas simples limbo ovalado, base arredondada, margem interna plana, ápice obtuso, arredondado, com manchas roxo-prateadas. Inflorescência em alongadas panículas espiciformes terminais e axilares, esverdeadas. Brácteas das folhas pistiladas ovadas e lanceoladas. Carvalho (2016) aponta ainda que a espécie é glabra, entretanto, observou-se pelos recobrimdo grande parte da estrutura da planta. Já o *A. lividus* possui folhas simples com ápice emarginado, pecíolo longo verde. Ramos decumbentes, de coloração verde e ramificações secundárias abundantes com inflorescências dispersas. Todavia Carvalho (2015) e Moreira e Bragança (2010), descreveram que esta espécie possui como característica marcante a coloração avermelhada das hastes principais e ramificações. Esta coloração não foi observada neste experimento. Acredita-se que a variação desta característica pode estar ligada a expressiva disponibilidade de elementos nutricionais.

Caracteriza-se o *A. spinosus* por ter folhas simples com formato ovado e pequeno ápice ondulado, pecíolo verde no período vegetativo tornando-se avermelhado na fase reprodutiva. Apresenta ramificações abundantes com inflorescências dispersa. É facilmente identificada pela presença de dois espinhos grandes na axila das folhas, que se mantém durante todo o ciclo de desenvolvimento. Outro diferencial é apresentar hábito de crescimento prostrado.

Figura 3- Caracteres morfológicos de diferentes espécies de *Amaranthus*. Passo Fundo-2017



O *A. hybridus* apresenta folhas com pecíolo longo e limbo com ápice ovalada ou lanceolada. Caule ereto, roxo avermelhado, pouco ramificado. Folhas com pecíolo metade do comprimento das lâminas foliares ou quase igual ao tamanho. Inflorescência terminais e axilares de coloração avermelhada, alguns autores descrevem como púrpura (MOREIRA; BRAGANÇA, 2010). Não se obteve variação morfológica entre os biótipos de *A. retroflexus* suscetível e resistente ao herbicida imazetapir. Caracterizou-se por possuir folhas com limbo ovalado, margem interna plana ou levemente ondulada, ápice agudo obtuso. Caule ereto, grosso e anguloso, avermelhado na base da planta, ramoso. Inflorescências terminais e axilares eretas, esverdeadas geralmente com manchas avermelhadas.

Encontrou-se correlações lineares positivas para *A. spinosus*, estas foram estatura e área foliar, número de folhas secundárias e totais e número de ramificações secundárias e totais, número de ramificações secundárias e número de ramificações totais, número de inflorescências secundárias e número de inflorescências totais (Apêndice IV).

A. spinosus apresentou um grande número de correlações lineares negativas, onde o acréscimo de uma variável influencia na redução linear da outra (Apêndice IV). Número de ramificações primárias e número de inflorescências primárias, número de folhas primárias e número de inflorescências secundárias, número de folhas secundárias e total com volume de raiz, número de ramificações secundárias e total com volume de raiz. As demais variáveis não obtiveram correlação entre si, sendo assim uma não influencia a outra.

As correlações lineares positivas para *A. hybridus* restringiram-se a 3, número de folhas primárias e número de ramificações primárias, número de folhas secundárias e número de folhas totais, número de inflorescências secundárias e número de inflorescências totais. O aumento do número de ramificações primárias reflete na elevação dos demais parâmetros, isso porque a ramificação também chamada de caule é o suporte mecânico de folhas, flores e frutos. O caule está estreitamente relacionado com as folhas. Caule e folhas iniciam o processo de formação durante o desenvolvimento do embrião, à medida que este inicia seu processo de desenvolvimento, ocorre a formação de gemas nas axilas das folhas (EVERT; EICHHORN, 2018). No caso do caruru, algumas das gemas presentes nas axilas, mais cedo ou mais tarde, se transformaram em inflorescências. Não se encontrou correlação linear negativa para a espécie de *A. hybridus* (Apêndice V).

Obteve-se correlação linear positiva para *A. retroflexus* suscetível ao herbicida imazetapir que é um inibidor da enzima ALS, número de folhas secundárias e número de folhas totais, número de ramificações secundárias e número de ramificações totais, massa seca total e comprimento da folha, número de inflorescências secundárias e número de inflorescências totais (Apêndice VI). A elevação de qualquer uma das variáveis citadas

causa a elevação concomitante da outra, como já observada nas espécies anteriores. Não ocorreu correlação negativa entre as variáveis avaliadas.

Ocorreu correlação positiva para *A. retroflexus* resistente aos herbicidas ALS, com relação ao número de folhas secundárias e número de folhas totais, a massa seca total e comprimento da haste foliar, número de inflorescências secundárias e número de inflorescências totais (Apendice VII). *A. retroflexus* apresentou 4 correlações negativas, entre elas estão: área foliar e número de folhas primárias, número de folhas primárias e número de ramificações totais, número de inflorescências secundárias e volume da raiz (Apendice VII). Não ocorreu correlação para as demais variáveis, sendo assim não ocorreu influência de uma variável sobre a outra.

Obteve-se que a estatura de plantas de *Amaranthus* variam significativamente ao longo do ciclo de desenvolvimento vegetativo (Tabela 1). Avaliou-se as plantas aos 10, 20, 30, 40 e 50 dias após a emergência, identificando-se que aos 10 dias a estatura do *A. viridis* é igual estatisticamente ao *A. spinosus*, e superior a todas as demais. Chama-se atenção, para a lentidão do aumento da estatura dos biótipos de *A. retroflexus*, sendo que a rápida elevação da estatura das plantas é uma característica importante, pois indica que esta consegue se sobressair e fugir da competição inicial com outras plantas daninhas presentes no ambiente.

Quando se avaliou a estatura das plantas aos 20 dias identificou-se que *A. viridis*, *A. lividus* e *A. spinosus* não se diferenciam e são superiores aos biótipos de *A. retroflexus* (Tabela 1). Já aos 30 dias os dados de elevação de estatura linear mudam, isso porque as características morfológicas começam a se expressar. As espécies de hábito de crescimento ereto mantêm a elevação, porém, as espécies semi-prostrados iniciam o desenvolvimento das gemas axilares reduzindo assim o aumento de estatura (Figura 3). Neste período *A. lividus* é igual ao *A. viridis* e superior a todos os demais. Aos 40 dias o biótipo de *A. retroflexus* suscetível passa a se destacar por apresentar o menor porte médio, 23,78 cm inferior. As plantas atingem o porte máximo aproximadamente aos 50 dias, nessa avaliação se identificou que *A. viridis*, *A. hibridus* e *A. retroflexus* biótipo resistente ao herbicida imazetapir apresentam superioridade aos demais.

Tabela 1- Estatura de plantas de espécies *Amaranthus* aos 10, 20, 30, 40 e 50 dias após a emergência (DAT). Passo Fundo - 2016

Espécies	Estatura de planta (cm)				
	10 DAE	20 DAE	30 DAE	40 DAE	50 DAE
<i>A. viridis</i>	7,45 a ¹	10,30 a	30,75 ab	59,92 a	140,0 a
<i>A. lividus</i>	5,06 bc	10,13 a	34,00 a	60,17 a	101,0 b
<i>A. spinosus</i>	6,01 ab	9,35 ab	20,50 c	59,33 a	99,00 b
<i>A. hybridus</i>	4,38 bcd	6,93 bc	23,0 bc	51,83 ab	129,00 a
<i>A. retroflexus</i> suscetível	3,65 cd	5,68 c	22,75 bc	33,00b	91,00 b
<i>A. retroflexus</i> resistente	3,15 d	6,17 c	22,50 bc	52,67 a	126,00 a
Coeficiente de variação %	15,88	20,52	16,52	20,88	9,07

¹ médias seguidas de letras distintas, comparadas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Surpreendentemente observou-se variação expressiva entre os biótipos de *A. retroflexus*, o biótipo suscetível apresentou-se 25 cm menor que o biótipo resistente. A variação entre biótipos de uma mesma espécie é comum, isso em virtude da ampla diversidade genética dentro de uma população. Acredita-se que a variabilidade dentro da espécie impacta na capacidade de adaptação, isto porque garante a sua adaptação em diferentes ambientes, quanto maior a variação de genes maior será a probabilidade de expressão de genes que possibilitem a sobrevivência em ambientes hostis (WARD; GASKIN; WILSON, 2008).

A elevada variabilidade genética permite a adaptação a diferentes ambientes, por permitir variações em características morfológicas, fisiológicas ou bioquímicas (WARD, 2006). Afirma-se então que espécies vegetais possuem a capacidade alterar sua morfologia através da expressão de genes recessivos em resposta a variação abióticas, tais como intensidade luminosa, disponibilidade de água e disponibilidade de nutrientes (GIVNISH, 2002).

Identificou-se variação significativa na avaliação de número de folhas produzidas por planta ao longo do seu ciclo de vida (Tabela 2). Aos 10 dias o *A. viridis*, *A. lividus* e o *A. spinosus* foram superiores estatisticamente aos demais. Durante este período o *A. retroflexus* biótipo resistente apresentou duas folhas a menos que as demais espécies, obtendo assim a menor média.

Com o passar dos dias, o número de folhas aumentou, porém ao aplicar o teste de separação de médias aos 20 e 30 dias após a emergência, se percebeu que o comportamento foi semelhante, mantendo variações estatísticas similares ao observado aos 10 dias. Somente aos 40 dias obteve-se alteração do perfil comportamental, sendo que o *A. lividus* apresentou-se superior a todos os demais. A superioridade desta espécie, fica evidente quando se observa a Figura 3, esta apresenta folhas na haste principal e nas ramificações primárias e secundárias.

Não ocorreu variação significativa aos 50 dias, isto porque de acordo com o estudo fenológico apresentado na Figura 1, todas as espécies já haviam entrado na fase reprodutiva. Nesta fase, as plantas de hábito de crescimento determinado que é o caso das espécies testadas cessam o desenvolvimento de novas ramificações e folhas e passam a investir sua energia no desenvolvimento de estruturas reprodutivas. Carvalho et al. (2008) também obtiveram resultados semelhantes sendo que, aos 40 DAS, as estruturas reprodutivas já estavam visíveis em todas as espécies por eles testadas, *A. deflexus*, *A. hybridus*, *A. retroflexus*, *A. viridis* e o *A. spinosus*.

Tabela 2- Número de folhas por planta de espécies *Amaranthus* aos 10, 20, 30, 40 e 50 dias após a emergência. Passo Fundo - 2016

Espécies	Número de folhas por planta				
	10 DAE	20 DAE	30 DAE	40 DAE	50 DAE
<i>A. viridis</i>	3,17 a ¹	7,33 ab	12,75 ab	79,50 bc	236,75 ns ²
<i>A. lividus</i>	3,50 a	8,17 ab	17,75 a	258,50 a	311,50
<i>A. spinosus</i>	3,17 a	8,66 a	12,50 ab	132,33 b	332,00
<i>A. hybridus</i>	2,00 b	6,50 bc	10,50 b	106,50 bc	184,75
<i>A. retroflexus</i> suscetível	2,17 b	4,83 c	11,50 b	73,20 c	216,50
<i>A. retroflexus</i> resistente	1,17 c	4,84 c	9,25 b	92,33 bc	204,50
Coeficiente de variação %	15,88	14,54	19,35	27,04	24,56

¹ Médias seguidas de letras distintas, comparadas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ² Não significativo.

Somou-se a área foliar presente nas plantas em cm², e identificou-se variação significativa, sendo que aos 10 DAE o *A. spinosus* foi superior a todos os demais, mantendo esse mesmo resultado aos 20 DAE (Tabela 3). Ao alcançar os 30 DAE obteve-se variação *A. viridis*, *A. lividus* e o *A. hibrydus*, apresentaram-se igual estatisticamente,

e sendo superiores ao *A. spinosus*. Ressalta-se que o grande número de folhas produzidas pelo do *A. sipinosus* não se refletiu em aumento significativo de área foliar devido ao reduzido tamanho de muitas das folhas produzidas nas ramificações secundárias. Pelo contrário aos 40 dias o *A. lividus* superou todas as demais espécies, acredita-se que isto ocorreu em virtude do elevado número de folhas presentes nas ramificações primárias e secundárias.

Aos 50 dias não se identificou variação significativa para a variável analisada área foliar. Este resultado foi alcançado em virtude do comportamento de desenvolvimento morfológico, neste período observou-se que o *A. viridis*, *A. hybridus* e os biótipos de *A. retroflexus* não foram prejudicados por terem menor número de folhas, estas posicionadas somente na haste principal e nas ramificações primárias. A inferioridade numérica que até então, era fator crucial para a obtenção de menor acúmulo de área foliar, deixou de ser um problema, pois estas expandiram elevando a área foliar total das plantas. A expansão das folhas permitiu que ocorresse a equiparação desta variável entre as espécies.

Tabela 3- Área foliar por planta de espécies *Amaranthus* aos 10, 20, 30, 40 e 50 dias após a emergência. Passo Fundo - 2016

Espécies	Área foliar (cm ²)				
	10 DAE	20 DAE	30 DAE	40 DAE	50 DAE
<i>A. viridis</i>	1,26 b	49,38 b	237,38 ab	523,98 c	1708,27 ns
<i>A. lividus</i>	1,27 b	34,85 bc	239,65 a	1407,04 a	1776,49
<i>A. spinosus</i>	2,64 a	90,64 a	145,44 c	976,09 b	1497,24
<i>A. hibrydus</i>	0,83 bc	25,49 c	178,00 abc	888,70 bc	1882,49
<i>A. retroflexus</i> suscetível	0,31 c	14,27 c	168,48 bc	668,26 bc	1701,98
<i>A. retroflexus</i> resistente	0,09 c	18,56 c	157,28 c	791,42 bc	1333,06
Coefficiente de variação %	39,58	32,14	16,46	27,30	18,26

¹ Médias seguidas de letras distintas, comparadas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ² Não significativo.

Também avaliou-se as variáveis comprimento do limbo foliar, pecíolo e comprimento total da folha (Tabela 4). A relação entre o comprimento do limbo e pecíolo estão sendo amplamente utilizadas para realizar a caracterização das espécies de plantas daninhas do gênero *Amaranthus*. Para a variável limbo foliar obteve-se superioridade do

A. viridis, mas este não foi diferente do *A. retroflexus* biótipo suscetível. Já quando se avaliou o comprimento de pecíolo identificou-se que *A. lividus* destaca-se por possuir o menor pecíolo, sendo este inferior ao *A. viridis*, *A. hybridus* e *A. retroflexus* resistente.

Torna-se evidente pelos resultados que a folha do *A. lividus* possui tamanho inferior a todas as demais, seguida pelo *A. spinosus* e *A. retroflexus* biótipo resistente. Todavia o *A. lividus* apresenta um efetivo mecanismo de compensação, este baseia-se no aumento do número de folhas como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 4 - Comprimento total da folha de espécies distintas de *Amaranthus* sp., subdividida em limbo e pecíolo folhar. Passo Fundo- 2017

Espécies	Comprimento folhar (cm)		
	Limbo	Pecíolo	Total
<i>A. viridis</i>	16,50 a ¹	10,65 a	27,15 a
<i>A. lividus</i>	8,70 e	7,05 b	15,75 c
<i>A. spinosus</i>	10,25 de	10,25 ab	20,50 b
<i>A. hybridus</i>	13,10 bc	12,05 a	25,15 a
<i>A. retroflexus</i> suscetível	14,38 ab	11,375 a	25,75 a
<i>A. retroflexus</i> resistente	11,05 cd	9,8 ab	20,85 b
Coefficiente de variação (%)	7,69	14,26	6,62

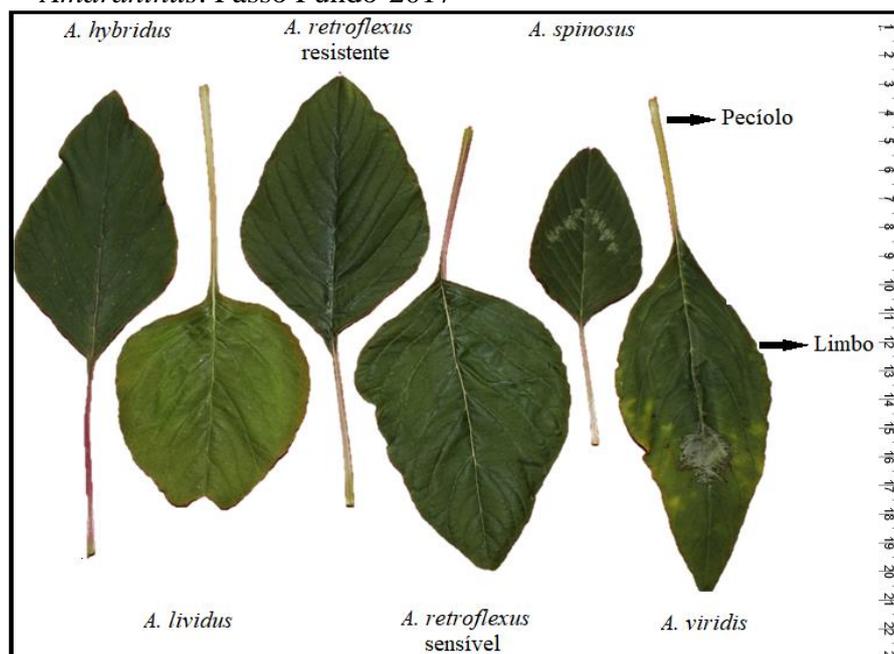
¹ Médias seguidas de letras distintas, comparadas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A partir destas informações pode-se construir um padrão de proporcionalidade: *A. viridis* e *A. retroflexus* possuem limbo com aproximadamente $\frac{1}{2}$ do comprimento do pecíolo; *A. lividus*, *A. spinosus* e *A. hybridus* possuem limbo e pecíolo proporcionais (Figura 4).

Obteve-se variabilidade significativa entre a velocidade de acúmulo de massa seca total, tal variação foi percebida aos 10 DAE e se ampliou aos 40 DAE (Figura 1). Aos 10 DAE *A. lividus* e *A. spinosus* acumularam cerca de 53% a mais de massa seca que os demais, sendo assim superiores estatisticamente (Tabela 5). Todavia, todos os *Amaranthus* iniciaram a elevação de massa seca aos 20 DAE. Aos 30 DAE não se observa variações significativas, todas as espécies apresentavam em média 1,4 g por planta em torno de 6% a 12% da massa seca total acumulada ao longo do ciclo fenológico. Já aos

40 DAE obteve-se a maior variação *A. lividus* se sobressaiu no acúmulo de massa seca sendo superior a todas as demais, este atingiu 30,89% do total de massa seca acumulada em seu ciclo, em relação aos demais que no mesmo período só acumularam 13,43% *A. viridis*, 19,22 % *A. spinosus*, 16, 78% *A. hybridus*, 10,69% *A. retroflexus* suscetível e 20,46 % *A. retroflexus* resistente aos herbicidas ALS.

Figura 4 - Caracteres morfológicos das folhas, limbo foliar e pecíolo das folhas de *Amaranthus*. Passo Fundo-2017



Obteve-se variabilidade significativa entre a velocidade de acúmulo de massa seca total, tal variação foi percebida aos 10 DAE e se ampliou aos 40 DAE (Figura 1). Aos 10 DAE *A. lividus* e *A. spinosus* acumularam cerca de 53% a mais de massa seca que os demais, sendo assim superiores estatisticamente (Tabela 5). Todavia, todos os *Amaranthus* iniciaram a elevação de massa seca aos 20 DAE. Aos 30 DAE não se observa variações significativas, todas as espécies apresentavam em média 1,4 g por planta em torno de 6% a 12% da massa seca total acumulada ao longo do ciclo fenológico. Já aos 40 DAE obteve-se a maior variação *A. lividus* se sobressaiu no acúmulo de massa seca sendo superior a todas as demais, este atingiu 30,89% do total de massa seca acumulada em seu ciclo, em relação aos demais que no mesmo período só acumularam 13,43% *A.*

viridis, 19,22 % *A. spinosus*, 16, 78% *A. hybridus*, 10,69% *A. retroflexus* suscetível e 20,46 % *A. retroflexus* resistente aos herbicidas ALS.

Aos 50 DAE a ordem de acúmulo de massa seca total foi: *A. retroflexus* biótipo suscetível \geq *A. hybridus* \geq *A. spinosus* \geq *A. viridis* \geq *A. retroflexus* biótipo resistente \geq *A. lividus*. Outros estudos também compararam o crescimento de espécies de plantas daninhas do gênero *Amaranthus*, nestes foram observados crescimentos diferenciais entre estas plantas daninhas. Obteve-se a seguinte ordem de acúmulo de massa seca: *A. retroflexus* \geq *A. hybridus* \geq *A. spinosus*, corroborando com os dados discutidos anteriormente (CARVALHO et al., 2008; SELLERS et al., 2003).

Tabela 5 - Massa seca total de parte área e raiz de espécies e biótipos de *Amaranthus* aos 10, 20, 30, 40 e 50 dias após a emergência (DAE). Passo Fundo - 2016

Espécies	Massa seca total (gr)				
	10 DAE	20 DAE	30 DAE	40 DAE	50 DAE
<i>A. viridis</i>	0,005 b	0,35 b	1,89 ns ²	4,27 bc	25,01 ab
<i>A. lividus</i>	0,011 a	0,24 bc	1,87	9,49 a	19,1 b
<i>A. spinosus</i>	0,013 a	0,73 a	1,30	6,96 ab	27,25 ab
<i>A. hibrydus</i>	0,004 b	0,25 bc	1,26	5,96 bc	28,29 ab
<i>A. retroflexus</i> suscetível	0,002 b	0,13 c	1,08	3,93 c	31,43 a
<i>A. retroflexus</i> resistente	0,001 b	0,13 c	1,01	5,45 bc	20,31 b
Coeficiente de variação %	38,7	40,47	39,18	27,22	19,02

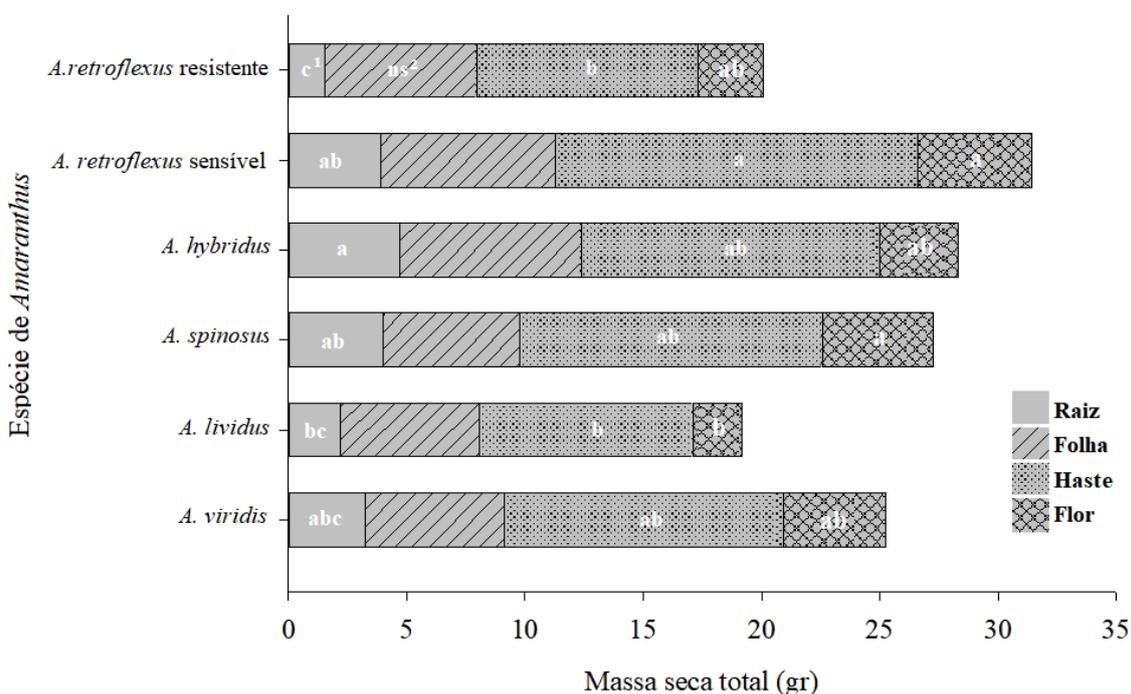
¹ Médias seguidas de letras distintas, comparadas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ² Não significativo.

Salienta-se que o principal ponto que chama atenção aos 50 DAE é a expressiva diferença estatística entre os biótipos de *A. retroflexus* suscetível e resistente ao herbicida imazetapir, o biótipo suscetível foi superior estatisticamente ao resistente. Em suma, o biótipo suscetível acumulou 11,12 g a mais que o biótipo resistente. Outros autores também relatam diferenças morfológicas entre os biótipos. Pereira et al. (2017) avaliaram o capim-amargoso (*Digitaria insularis* L.) biótipo suscetível e resistente ao herbicida glifosato e obtiveram variações na expressão morfológica e fisiológica. O biótipo suscetível exibiu um maior número de afilhos por planta, quando comparado com o biótipo resistente sendo respectivamente, 34,29 e 29,13. Mas os biótipos resistentes

apresentaram maior eficiência competitiva e uma maior acumulação de matéria seca de raiz (PEREIRA et al., 2017).

Ocorreu ampla variação na proporcionalidade de acúmulo de massa seca nas diferentes partes constituintes das plantas (Figura 5). O biótipo resistente de *A. retroflexus* apresentou o menor acúmulo de massa seca de raiz, sendo inferior ao biótipo suscetível e ao *A. spinosus* e o *A. hybridus*. Apesar de se ter obtido variação significativa nas variáveis números de folhas (Tabela 8), isso não se refletiu em elevação de massa seca, sendo esta variável, não significativa quando se aplicou o teste de análise de variância. Como já se inferiu anteriormente a expansão foliar de algumas das espécies, equipara o fator número de folhas, visto que para o *A. lividus* e o *A. spinosus* estas podem ser de tamanho diminuto.

Figura 5 - Massa seca de raiz, massa seca de folha, massa seca de haste e massa seca de flor de plantas *Amaranthus* aos 50 dias após a emergência. Passo Fundo- 2017



¹ Letras distintas, comparadas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ² Não significativo.

Quando se analisou visualmente o *A. lividus* (Figura 3), obteve-se que este possui grande número de ramificações primárias e secundárias, assim esperava-se que está

espécie apresentaria maior massa seca neste constituinte, no entanto a expectativa mostrou-se falsa. *A. lividus* e *A. retroflexus* biótipo resistente são iguais estatisticamente e surpreendentemente inferiores ao biótipo suscetível. *A. retroflexus* biótipo suscetível apresenta elevado acúmulo de massa seca na haste, a deposição de maiores quantidades de foto assimilados nesta estrutura pode estar correlacionado ao seu ciclo de desenvolvimento lento, esta leva 90 dias para atingir a senescência. Informações semelhantes são apresentadas no estudo de Carvalho et al. (2008), porém estes autores apontam que o maior peso de massa seca está correlacionado ao maior ciclo que permite aumento do crescimento vertical.

Também se comparou a massa seca das inflorescências, estas seguiram o padrão de proporcionalidade já apresentado anteriormente para as demais variáveis, sendo que *A. retroflexus* suscetível é igual a *A. spinosus*, e estas são superiores somente ao *A. lividus*.

Constatou-se comportamento diferencial das espécies de *Amaranthus* para todas as variáveis quantitativas estudadas no trabalho. Inclusive entre os biótipos de *A. retroflexus* suscetível e resistente ao herbicida imazetapir. Isto caracteriza que estas plantas daninhas, podem se adaptar facilmente a ecossistemas distintos.

4.5 Conclusões

As espécies apresentam variações fenológicas, 81 dias para o *A. lividus* \geq 84 para o *A. viridis* \geq 90 para *A. hybridus*, *A. spinosus* e os dois biótipos de *A. retroflexus*.

O guia ilustrativo de imagens vai auxiliar o produtor a identificar as espécies de *Amaranthus* a campo.

O biótipo de *A. retroflexus* suscetível a imazetapir acumulou maior quantidade de massa seca, principalmente nas hastes e flores, seguido pelo *A. hybridus*, *A. spinosus*, *A. viridis*, *A. retroflexus* biótipo resistente e *A. lividus*.

5 CAPÍTULO III

Desenvolvimento morfológico do sistema radicial de *Amaranthus* spp

5.1 RESUMO

O sistema radicial é um dos principais elementos da composição estrutural de uma planta, ele é responsável por realizar a ancoragem, absorção de água e nutrientes, armazenamento de reservas e produção de hormônios. Este estudo possui como hipótese que se existir variação no crescimento, desenvolvimento, das diferentes espécies e biótipos de *Amaranthus*, então existe variações na morfologia do sistema radicial. Tem-se como objetivo geral caracterizar quais são as variações morfológicas de crescimento e desenvolvimento das espécies de *Amaranthus* que lhes conferem capacidade competitiva. O experimento foi conduzido entre março a maio de 2017, em casa-de-vegetação, utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições. Os tratamentos foram compostos por espécies de *Amaranthus*: *A. viridis*, *A. lividus*, *A. spinosus*, *A. hybridus*, *A. retroflexus* suscetível e *A. retroflexus* resistente ao herbicida imazetapir, inibidor da enzima ALS. Avaliou-se massa seca, comprimento, área superficial, diâmetro médio, número de pontas e ramificações das raízes dos 0 aos 50 dias após a emergência. O sistema radicial do *A. spinosus* se destaca em termos de volume de raízes, quantidade e comprimento isso possibilita a maior capacidade de interceptação dos recursos disponíveis, como nutrientes, estas características morfológicas garantem a superioridade competitiva desta espécie com relação as demais. O *A. spinosus* é seguido pelo *A. retroflexus* biótipo suscetível \geq *A. hybridus* \geq *A. viridis* \geq *A. lividus* \geq *A. retroflexus* biótipo resistente.

Palavras-chave: 1. Raiz. 2. Massa seca 3. Comprimento. 4. Área superficial 5. Diâmetro.

5.2 Introdução

Uma planta é composta por diversas estruturas estas são divididas em duas partes: parte aérea e sistema radicial. O sistema radicial constitui a porção subterrânea das plantas e é composta por estruturas especializadas para fixação, absorção e armazenamento de reservas e produção de hormônios. A fixação é realizada principalmente pelas raízes seminais (embrionárias), isto porque estas possuem diâmetro superior as demais, sendo assim capazes de penetrar o solo e realizar a ancoragem (FINCH et al., 2017; AGUIAR, 2018). Já as raízes secundárias, também chamadas de absorventes são responsáveis pela absorção de água e nutrientes que são fundamentais para a sobrevivência das plantas,

também são elas que armazenam reservas e quando expostas a situações de estresse liberam hormônios (AGUIAR, 2018).

O desenvolvimento do sistema radicial é influenciado dos vários fatores entre eles pode-se destacar a competição. As plantas raramente germinam, crescem e se desenvolvem isoladas, normalmente estão inseridas em ecossistemas dentro de uma comunidade que engloba diversos indivíduos (FRASER et al., 2015). Estes indivíduos competem por diversos fatores como água, nutrientes, CO₂, O₂ e espaço físico, a espécie que possuir maior habilidade competitiva apresenta vantagem neste processo. A competição entre plantas ocorre acima e abaixo do solo. Espécies com elevada habilidade competitiva acima do solo podem não dominar determinada área, se a mesma não dispor de recursos do solo. Da mesma forma, plantas com elevada capacidade de absorção de nutrientes, mesmo em solos férteis, podem ser desfavorecidas pelo sombreamento exercido por outras de maior produção de biomassa aérea (ZANINE; SANTOS, 2004).

Neste contexto no solo as raízes competem com raízes de plantas vizinhas, da sua própria espécie ou de diferentes espécies e genótipos para obtenção de nutrientes e água (BELTER; CAHILL, 2015). As plantas que possuírem raízes mais rústicas e adaptáveis conseguem se sobressair neste processo competitivo, tendo em vista que as raízes são capazes de detectar raízes vizinhas independentemente da fertilidade do solo (FANG et al., 2013). A partir da detecção, as plantas podem alterar sua plasticidade de acúmulo de biomassa radicial em resposta à presença de um vizinho (FINCH et al., 2017). No entanto, esta indução de crescimento gerada pela presença de um vizinho, impacta em um grande gasto energético.

Entre as plantas daninhas de alto índice de interferência nos ecossistemas agrícolas são registradas muitas espécies de *Amaranthus*. Estas plantas são descritas como de alta flexibilidade adaptativa e apresentam resistência a herbicidas, dificultando ainda mais o seu manejo em áreas de cultivo agrícola. Apesar da sua elevada importância no cenário agrícola, não existem informações referente a morfologia radicial. Então estudos que consigam realizar a caracterização da morfologia radicial são fundamentais. Isso

porque, estudos assim geram informações que podem auxiliar o produtor na tomada de decisão quanto as melhores práticas para o manejo integrado de plantas daninhas.

Este estudo possui como hipótese que se existir variação no crescimento, desenvolvimento, das diferentes espécies e biótipos de *Amaranthus*, então existe variações na morfologia do sistema radicial. Objetivo geral é caracterizar quais são as variações morfológicas de crescimento e desenvolvimento das espécies de *Amaranthus* que lhes conferem capacidade competitiva.

5.3 Material e Métodos

5.3.1 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido entre março a maio de 2017, em casa de vegetação nas dependências da Universidade de Passo Fundo (UPF). Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições.

5.3.2 Procedimentos

Realizou-se experimento com as espécies de *Amaranthus* pré-selecionadas *Amaranthus viridis* L., *Amaranthus lividus* L., *Amaranthus spinosus* L., *Amaranthus hybridus* L., *Amaranthus retroflexus* L. suscetível e *Amaranthus retroflexus* L. resistente aos herbicidas imazetapir, inibidor da enzima ALS.

As diferentes espécies foram semeadas em vasos de 27 cm de diâmetro e 35 cm de altura, preenchidos com substrato comercial do tipo Turfa Fértil® e adubados com fertilizante mineral fórmula 08-25-20. Realizou-se a semeadura de 20 sementes por vaso. Após a emergência fez-se o raleio de acordo com a capacidade de suporte do vaso, deixando somente 10 plantas. A irrigação foi realizada manualmente, mantendo a capacidade de campo durante o ciclo de cultivo. A posição dos vasos foi alterada periodicamente, a fim de obter condições experimentais homogêneas.

As avaliações iniciaram aos 10 dias após a emergência e seguiram aos 20, 30, 40 e 50 dias. Em cada avaliação realizou-se a retirada de duas plantas por vaso, com auxílio de uma espátula para não ocorrer o rompimento das raízes secundárias. Após a retirada, as raízes foram lavadas cuidadosamente em água corrente. Então foram avaliadas com o uso do software WinRhizo (Regent Instruments Inc., Sainte-Foy, QC Canada), onde se mensurou comprimento, área superficial, volume, diâmetro médio, número de pontas de raiz e ramificações. Posteriormente as raízes foram colocadas em sacos de papel e acondicionadas em estufa a 80 °C até atingirem peso constante para quantificação de massa seca.

5.3.4 Análises estatísticas

Os resultados obtidos foram ajustados aos modelos lineares como: linear, quadrático; e não lineares como: exponencial, sigmoidal, fatorial, a escolha do modelo se deu em virtude do que melhor se ajustou obtendo maior valor de R^2 .

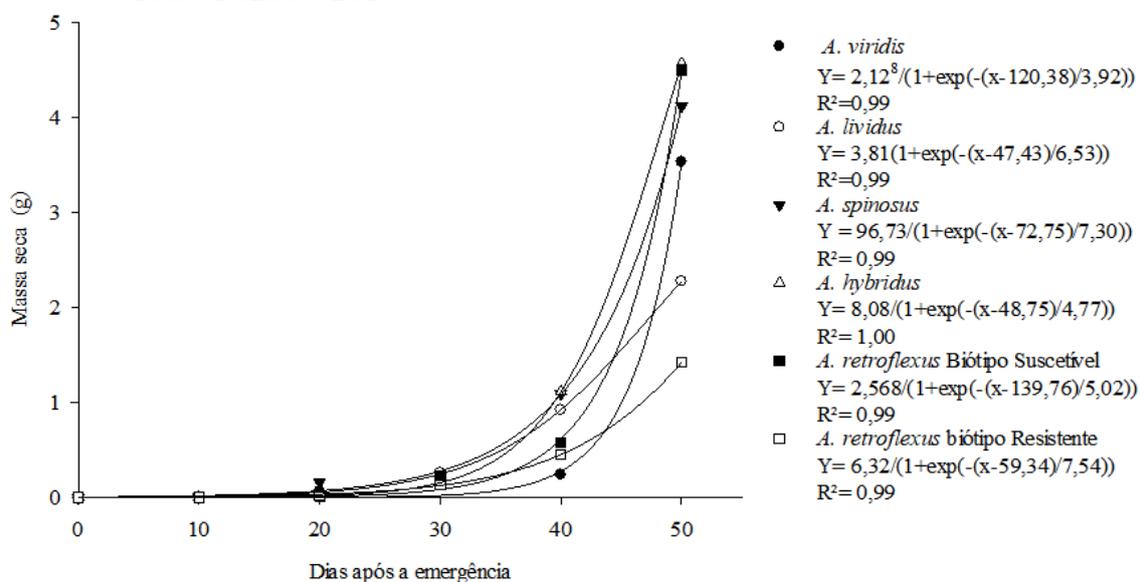
5.4 Resultados e Discussão

Houve variação significativa para o caractere massa seca (MS) de raiz ao longo do período avaliado, 50 dias (Figura 1). Todas as espécies e biótipos iniciaram a alongação do seu sistema radicial aos 10 DAE (dias após a emergência). Aos 20 DAE obteve-se a primeira variação expressiva entre as espécies, neste período o *A. spinosus* e *A. lividus* destacaram-se acumulando em média 0,6 g, isso é três vezes mais MS que as demais espécies testadas.

Já aos 40 DAE este cenário começou a se alterar o *A. hybridus* apresentou um expressivo aumento no seu sistema radicial que causou o ganho de 0,95 g de MS em apenas 10 dias, este fato também foi observado para o *A. spinosus* que somou 0,87 g de ganho de MS. *A. viridis* e *A. retroflexus* biótipo resistente apresentaram acúmulo de massa seca 50% inferior as demais.

Aos 50 DAE a magnitude de acúmulo de MS foi a seguinte $A. hybridus \geq A. retroflexus$ biótipo suscetível $\geq A. spinosus \geq A. viridis \geq A. lividus \geq A. retroflexus$ biótipo resistente. Este comportamento já havia sido relatado na pesquisa de Carvalho; López-Ovejero e Christoffoleti (2008), estes descrevem que o *A. hybridus* foi a espécie que mais acumulou massa seca nas raízes, seguido por *A. retroflexus*, *A. spinosus* e *A. viridis*. A espécie com menor massa seca de raízes foi *A. deflexus*. Estes dados corroboram com os desta pesquisa, mostrando a superioridade do sistema radicial do *A. hybridus*. Maiores sistemas radiciais podem indicar maior potencial de absorção de nutrientes (SANES et al., 2013).

Figura 1 – Massa seca do sistema radicial ao longo do ciclo de *Amaranthus* e biótipo resistente ao herbicida imazetapir aos 10, 20, 30, 40 e 50 após a emergência. Passo Fundo – 2017



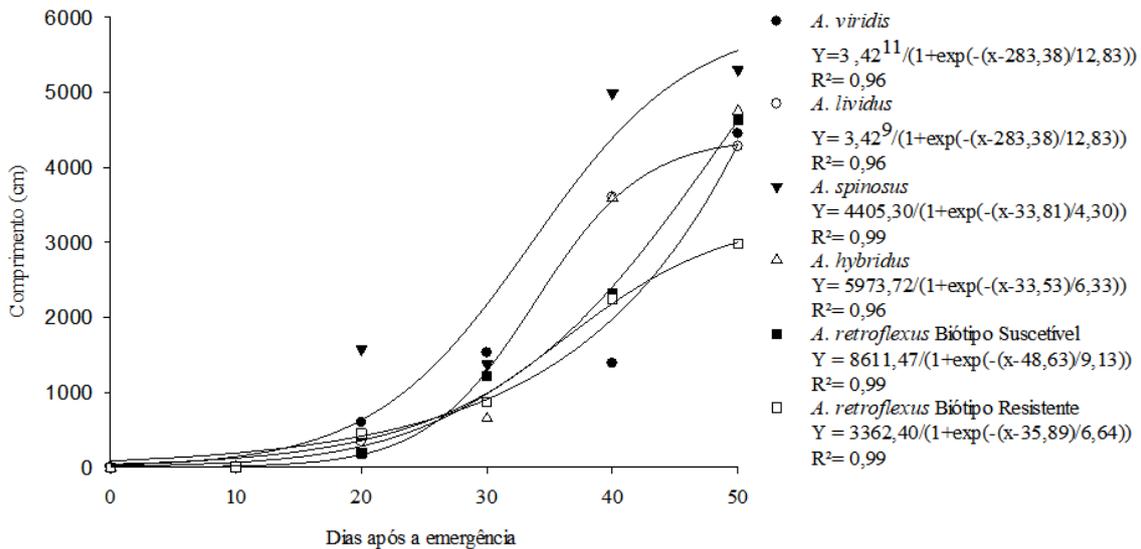
A grande variação entre os biótipos de *A. retroflexus* suscetível e resistente ao herbicida imazetapir chama atenção, visto que a superioridade no acúmulo de MS do biótipo suscetível é de 3,08 g MS. Torna-se evidente esta informação quando se compara a curva ao longo dos 50 DAE, o biótipo suscetível possui expressivo desenvolvimento de raízes acumulando assim maior MS.

O comprimento das raízes foi variável entre as espécies e biótipos testados (Figura 2). As plantas avaliadas apresentaram um pico de aumento no comprimento das raízes 362%, *A. hybridus* 552%, *A. retroflexus* biótipo suscetível 190%, *A. retroflexus* biótipo resistente 259%, a única exceção foi o *A. viridis* com 0%, em relação aos dados obtidos na avaliação realizada aos 20 DAE.

Quanto ao *A. spinosus*, a espécie com a maior velocidade de expansão do sistema radicial em comprimento, visto que as 34 DAE, já havia desenvolvido 50% desta variável, enquanto as demais espécies só alcançaram esta porcentagem após 38 DAE. Entende-se que quanto maior for o comprimento do sistema radicial, maior será o volume de solo ocupado e assim sendo, as raízes terão maior capacidade de explorar o solo em busca de recursos (ZONTA et al., 2006). Então, esta característica pode lhe beneficiar em períodos de restrição hídrica, por exemplo, milho quando submetido a períodos de restrição hídrica apresenta aumento do comprimento radicial para suprir a necessidade de água (WASSON et al., 2012). No caso de deficiência nutricional, o aumento do comprimento das raízes também é benéfico, pois raízes mais longas permitem a exploração do solo em maior profundidade em busca nutrientes, dando a planta vantagem competitiva sobre as demais espécies seja elas plantas daninhas ou plantas cultivadas. Este fato já foi relatado por Alves et al. (2002) estes afirmam que diferentes genótipos com maior comprimento radicial proporcionam maior absorção de nutrientes.

A avaliação aos 50 DAE revela que o gênero *Amaranthus* não possui homogeneidade na expressão do comprimento de raiz, sendo ampla a variação entre as espécies e biótipos, então acredita-se que a variabilidade genética dentre as espécies e biótipo de *Amaranthus* é muito ampla. Tal variação entre biótipos pode ser influenciada por fatores ambientais, adaptação ecológica e pelo genótipo (CUTLER; BOTHA; STEVENSON, 2011). Isso é evidenciado quando se compara os biótipos de *A. retroflexus*, pois nem mesmo eles expressaram comportamento semelhante, pelo contrário o biótipo suscetível atingiu 4641,48 cm enquanto o biótipo resistente só chegou a 2980,19 cm. A espécie que apresentou maior comprimento de raiz foi o *A. spinosus* seguido por *A. hybridus*, *A. retroflexus* biótipo suscetível, *A. viridis*, *A. lividus* e *A. retroflexus* biótipo resistente respectivamente.

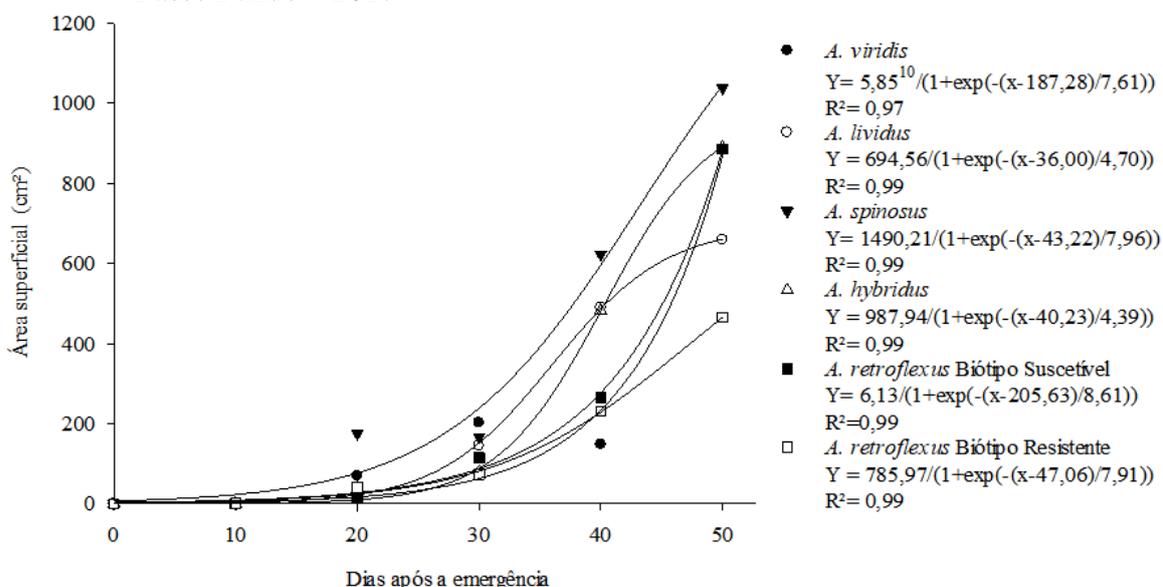
Figura 2 – Comprimento de raiz ao longo do ciclo de *Amaranthus* e biótipo resistente ao herbicida imazetapir, as avaliações foram realizadas aos 10, 20, 30, 40 e 50 após a emergência. Passo Fundo – 2017



A área superficial do sistema radicular apresentou variabilidade (Figura 3). Corroborando com os dados de MS e comprimento, o aumento exponencial da curva de expansão da área superficial de raiz também iniciou sua elevação aos 20 DAE. Obteve-se lentidão na evolução da curva dos 0 DAE aos 20 DAE, isso está diretamente correlacionado a utilização das reservas energéticas. O desenvolvimento de qualquer estrutura morfológica é dependente de energia, na fase inicial a plântula depende da reserva da semente. A partir da emissão das primeiras folhas, a planta passa a realizar fotossíntese, produzindo sua própria energia. Nesta fase a prioridade da planta é o desenvolvimento de estruturas foliares, com vista a elevar a taxa de produção energética (EVERT; EICHHORN, 2018). Assim sendo, uma pequena quantidade energética é direcionada para a expansão do sistema radicular. Quando se avalia a escala fenológica das espécies de *Amaranthus* observa-se expressivo desenvolvimento das estruturas aéreas nesse período (Capítulo III), então torna-se evidente, que o baixo desenvolvimento neste período está associado ao direcionamento da energia.

Tem-se que aos 30 DAE ocorre a intensificação da elevação da área superficial da raiz, este fato se estende até os 45 DAE para o *A. lividus* e 48 DAE para o *A. retroflexus* biótipo suscetível. As curvas de acúmulo de área superficial de raiz mostraram que aos 50 DAE o *A. spinosus* atingiu o maior acúmulo chegando a 1038,97 cm² seguido pelo *A. retroflexus* biótipo suscetível com 881,30 cm², *A. viridis* com 881,30 cm², *A. hybridus* com 891,10 cm², *A. lividus* com 659,40 cm², *A. retroflexus* biótipo resistente 464,74 cm². Apesar das expressivas diferenças não ocorreu variação no desenvolvimento deste caractere morfológico, haja visto que aos 40 DAE todas as espécies já haviam desenvolvido 50% desta variável.

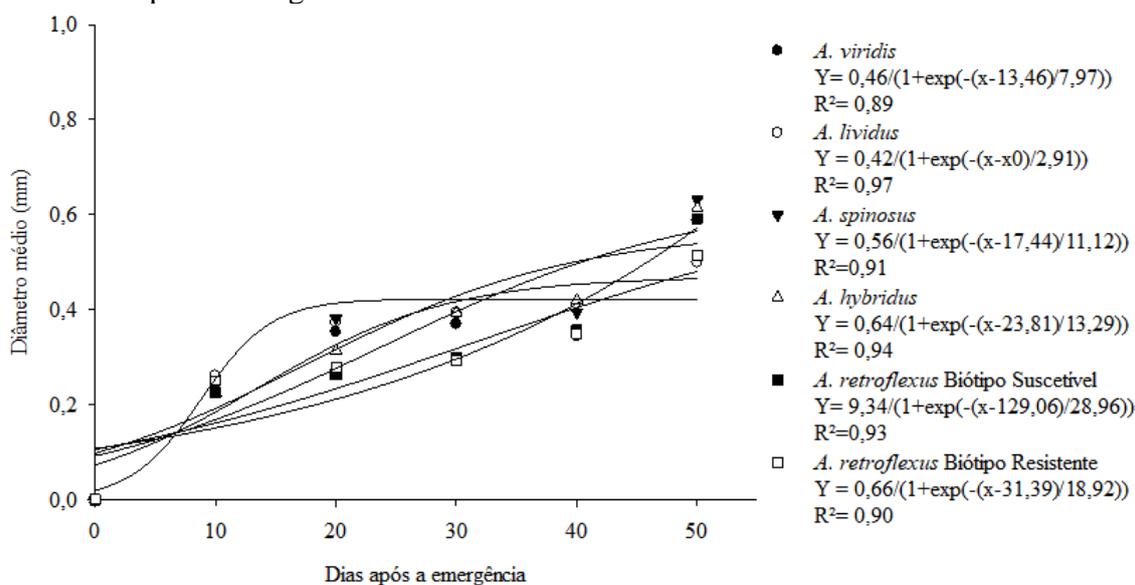
Figura 3 – Área superficial de raiz acumulada ao longo do ciclo de *Amaranthus* e biótipo resistente ao herbicida imazetapir aos 10, 20, 30, 40 e 50 após a emergência. Passo Fundo – 2017



O diâmetro médio da raiz representado pela curva ao longo de 50 dias variou de acordo com as espécies e biótipos de *Amaranthus* (Figura 4). A elevação do diâmetro das raízes de *Amaranthus* foi lenta, mas de forma contínua, elevando-se em média 0,06 mm a cada 10 dias, a única exceção foi o *A. hybridus*. O *A. hybridus* apresentou uma intensa elevação inicial do diâmetro, sendo que, aos 16 DAE atingiu 0,6 mm, este foi o máximo diâmetro avaliado para esta espécie. A partir dos 16 DAE a curva manteve-se estável até os 50 DAE.

Aos 50 DAE a magnitude do diâmetro das raízes apresentou a seguinte ordem *A. spinosus* \geq *A. hybridus* \geq *A. retroflexus* biótipo suscetível \geq *A. viridis* \geq *A. retroflexus* biótipo resistente \geq *A. lividus*. A gênero *Amaranthus* possui sistema radicial axial pivotante, isto associado a elevado diâmetro médio caracteriza uma forte capacidade de ancoragem. Todavia, diâmetro de raiz possui correlação negativa com a captura de nutrientes, ou seja, quando maior o diâmetro das raízes de uma planta menor é a sua capacidade de captura de recursos do solo. Isso porque, raízes que possuem menor diâmetro conseguem ter maior área de contato com o solo do que as raízes de diâmetros maiores (KROON; VISSER, 2003). Neste sentido o *A. spinosus* possui desvantagem em relação as demais plantas avaliadas.

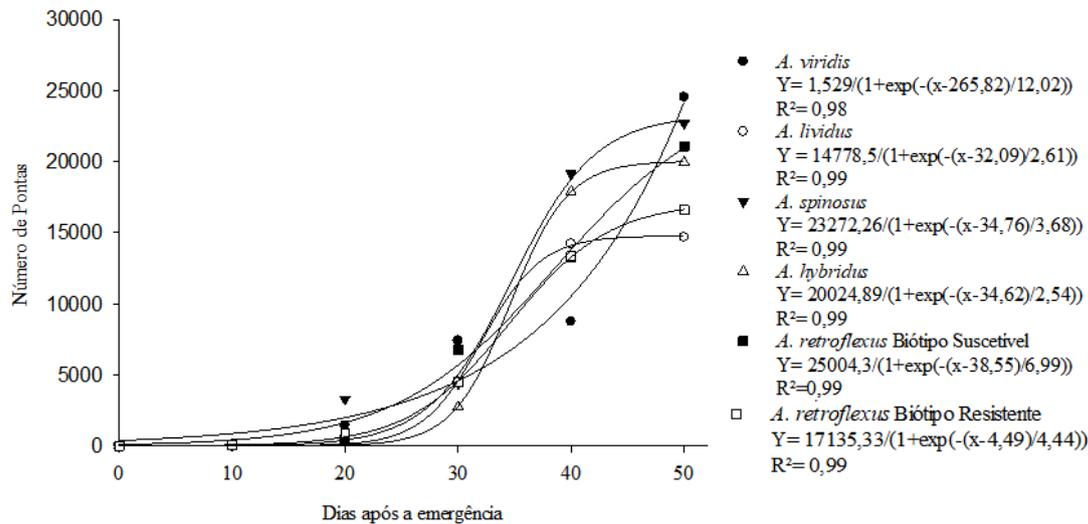
Figura 4 – Diâmetro médio de raiz ao longo do ciclo de *Amaranthus* e biótipo resistente ao herbicida imazetapir, as avaliações foram realizadas aos 10, 20, 30, 40 e 50 após a emergência. Passo Fundo – 2017



A curva de evolução do número de pontas de raiz apresenta variabilidade, isso indica que as espécies e biótipos possuem variações no desenvolvimento deste caractere (Figura 5). De fato, a intensificação na elevação da curva ocorre a partir de 30 DAE, sendo que 40 DAE, percebe-se uma estabilização na evolução das curvas, com a exceção de uma espécie. O *A. viridis* apresenta uma expressiva elevação no número de pontas a partir dos 40 DAE. Aos 50 DAE obteve-se que o *A. viridis* possui superioridade aos

demais, seguido pelo *A. spinosus* \geq *A. retroflexus* biótipo suscetível \geq *A. hybridus* \geq *A. retroflexus* biótipo resistente \geq *A. lividus*.

Figura 5 – Número de pontas de raiz ao longo do ciclo de *Amaranthus* e biótipo resistente ao herbicida imazetapir, as avaliações foram realizadas aos 10, 20, 30, 40 e 50 após a emergência. Passo Fundo – 2017

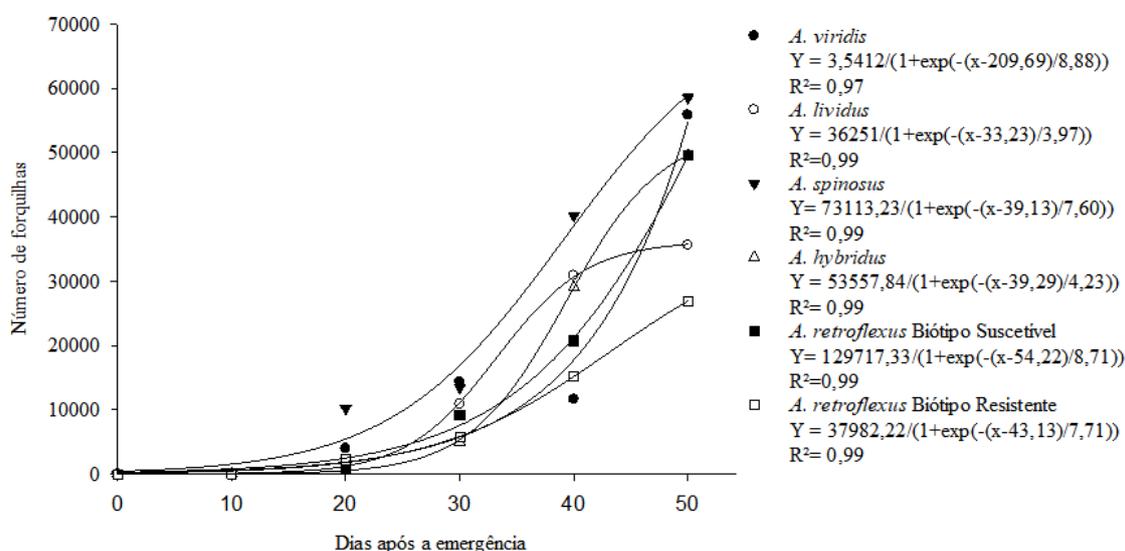


No geral o comportamento da curva de ramificações de raiz evoluiu de forma não linear, mas não destoou das demais curvas realizadas neste estudo (Figura 6). Aos 10 DAE obteve-se baixo número de ramificações, isso ocorre em virtude da formação da raiz primária. Esta é originada a partir do eixo embrionário e compõe o eixo principal da raiz pivotante (AGUIAR, 2018). É dela que partem as ramificações secundárias que também são chamadas de raízes laterais, estas possuem como função principal a interceptação de nutrientes e absorção de água (FINCH et al., 2017).

A pesar da baixa quantidade de raízes secundárias mesmo aos 10 DAE, já foi possível perceber disparidade entre o *A. retroflexus* biótipo resistente e o suscetível. O biótipo suscetível apresentou em torno de 75% a mais de ramificações que o biótipo resistente. Então a maior quantidade de raízes secundárias pode dar a esta espécie maior habilidade de competir em ambientes estressantes.

O *A. spinosus* foi a espécie com a maior velocidade de desenvolvimento de ramificações, visto que as 36 DAE, já havia desenvolvido 50% desta variável, enquanto as demais espécies só alcançaram esta porcentagem aos 40 DAE. Aos 50 DAE caracterizou-se a escala de desenvolvimento de ramificações o *A. spinosus* apresentou maior número de ramificações seguido pelo *A. viridis* \geq *A. retroflexus* biótipo suscetível \geq *A. hybridus* \geq *A. lividus* \geq *A. retroflexus* biótipo resistente.

Figura 6— Número de ramificações ao longo do ciclo de *Amaranthus* e biótipo resistente ao herbicida imazetapir, as avaliações foram realizadas aos 10, 20, 30, 40 e 50 após a emergência. Passo Fundo – 2017

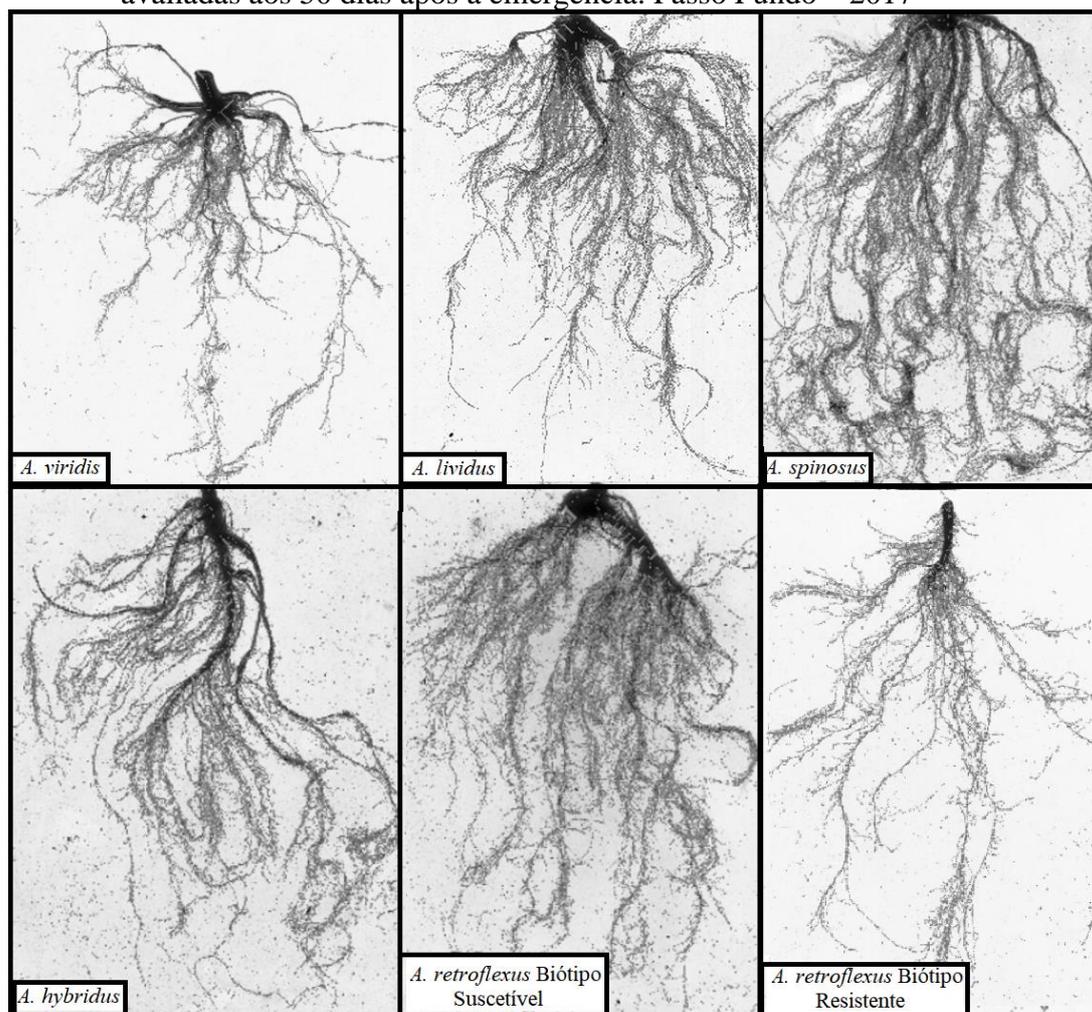


As variáveis analisadas expressaram variabilidade entre as espécies, entretanto, o que mais chamou atenção foi a expressiva diferença entre os biótipos de *A. retroflexus*. O biótipo resistente apresentou-se inferior em todas as avaliações em relação ao biótipo suscetível, isso fica evidente quando se observa a Figura 7. Sabe-se que existe grande variabilidade dentro de uma população de plantas e assim sendo, os caracteres fenotípicos apresentados por cada planta pode variar de acordo com as condições climáticas, ambientais e de solo. Porém neste caso, o experimento foi realizado em vasos, então torna-se notória a diferença entre os biótipos.

Diferenças na adaptabilidade ecológica entre biótipos resistentes e suscetíveis são usualmente apresentados em estudos a partir da comparação de diferentes caracteres

morfológicos, fisiológicos e bioquímicos, tais como: área foliar, massa seca, estatura, vigor da planta, produtividade ou competitividade entre outros fatores. Destaca-se que o biótipo de *Conyza canadensis* resistente ao herbicida glifosato possui crescimento mais lento e menores acúmulo de MS e área foliar que o biótipo suscetível (MOREIRA et al., 2010).

Figura 7– Sistema radicial de *Amaranthus* e biótipo resistente ao herbicida imazetapir, avaliadas aos 50 dias após a emergência. Passo Fundo – 2017



Se os distintos biótipos apresentam características competitivas diferentes, tanto para os caracteres desenvolvidos acima e abaixo do solo (ZANINE; SANTOS, 2004), então de fato mais estudos sobre o comportamento do sistema radicial tornam-se essenciais. Visto que, as plantas que possuem raízes mais rústicas e adaptáveis conseguem se sobressair em um processo competitivo (FANG et al., 2013). Principalmente quando

estão em competição com plantas cultivadas, isso pois as culturas agrícolas de soja, milho, feijão, trigo e outras são selecionadas para gastar sua energia em caráter produtivo que incluem qualidade de grão, quantidade de grãos, estatura de plantas e resistência a pragas e doenças (REYNOLDS; BORLAUG, 2006; ARAUS et al., 2008). Os caracteres radiciais relacionados têm sido negligenciados comparativamente, em parte devido à dificuldade em estudá-los (PÁEZ-GARCÍA et al., 2015; GEWIN, 2010). Neste contexto as plantas daninhas passam a ter vantagem competitiva sobre as culturas agrícolas, estas evoluíram paralelamente as plantas cultivadas, adaptando-se aos distintos cenários, compilando resistência a herbicidas e moldando-se para explorar os recursos disponíveis de forma rápida e eficaz.

5.5 Conclusões

A morfologia do sistema radicial das espécies é distinto, o *A. spinosus* possui crescimento e desenvolvimento superior aos demais, isso possibilita a maior capacidade de interceptação dos recursos disponíveis, como nutrientes, estas características morfológicas garantem a superioridade competitiva desta espécie com relação as demais testadas.

Variações de expansão foram observadas em todas as espécies sendo que, pode-se classificar o sistema radicial mais desenvolvido para o menos desenvolvido respectivamente *A. spinosus* seguido pelo *A. retroflexus* biótipo suscetível \geq *A. hybridus* \geq *A. viridis* \geq *A. lividus* \geq *A. retroflexus* biótipo resistente.

6 CAPÍTULO IV

Curvas de dose-resposta e a eficácia do herbicida imazetapir sobre espécies de *Amaranthus*

6.1 RESUMO

Observa-se que a eficiência no controle de plantas daninhas tem reduzido expressivamente nos últimos anos, se acredita que isso ocorra pela seleção de biótipos resistentes a herbicidas. Cita-se diversos casos de falha de controle de *Amaranthus* com o uso de herbicidas inibidores de ALS. Nos anos de 2016 e 2017 foram conduzidos estudos em casa de vegetação com o objetivo de avaliar a existência de suscetibilidade e/ou a resistência de espécies de *Amaranthus* ao herbicida imazetapir. Se conduziu dois experimentos de curva de dose-resposta com várias espécies de *Amaranthus* entre elas: *Amaranthus viridis*; *Amaranthus lividus*; *Amaranthus spinosus*; *Amaranthus hybridus* e dois biótipos de *Amaranthus retroflexus*. Os tratamentos foram compostos por imazetapir (106 g de i.a ha⁻¹) em diferentes doses (0 D; 0,12 D; 0,25 D; 0,5 D; 0,75 D; 1 D; 2 D; 4 D; 8 D; 16 D; 32 D e 64 D). Avaliou-se controle visual, massa seca e redução de porte de plantas aos 14 e 35 dias após a aplicação do herbicida. Pode-se concluir que existe variação de suscetibilidade entre as espécies de *Amaranthus*: *A. viridis*, *A. lividus*, *A. hybridus*, *A. spinosus* e *A. retroflexus*. *A. viridis*, *A. lividus*, *A. hybridus*, *A. spinosus* e o biótipo de *A. retroflexus* oriundo de Passo Fundo são controlados eficientemente com o uso de doses inferiores à de registro. O biótipo de *A. retroflexus* oriundo de Lucas do Rio Verde - MT é resistente ao herbicida imazetapir.

Palavras-chave: 1. Caruru. 2. Acetolactato sintase. 3. Curva de dose resposta. 4. Controle. 5. Massa seca.

6.2 Introdução

A redução de produtividade dos cultivos agrícolas é influenciada por diversos fatores, dentre eles destacam-se: clima; deficiência nutricional; incidência de fitopatógenos; pragas e a competição com plantas daninhas. Shivrain et al. (2010) aponta que a competição entre plantas daninhas e cultivadas é uma das principais causas de perdas na produtividade agrícola. Isto porque estas, causam uma gama de problemas elevando o custo de produção e aumentam a concentração de inóculo de doenças que mantem insetos praga vivos e competem por espaço, luz, CO₂, água e nutrientes. A ampla

interferência ocorre por serem plantas rústicas, adaptadas aos ambientes e extremamente agressivas (PITELLI, 2015; FREITAS et al., 2011).

O dano causado varia de acordo com a espécie daninha infestante, então é fundamental para a manutenção da produtividade das culturas agrícolas que todas estas plantas sejam manejadas. Mas sem dúvida as espécies mais agressivas demandam de maior cuidado isto porque, seu grau de impacto negativo nos ecossistemas produtivos é maior. Quando se testou a interferência de plantas daninhas *Amaranthus retroflexus* L., *Bidens pilosa* L., *Eleusine indica* (L.) Gaertn., *Digitaria horizontalis* Willd., *Alternanthera tenella* Colla e *Commelina benghalensis* L. observou-se que o impacto em redução de produtividade chega a 83% (RAIMONDI et al., 2017).

O elevado grau de interferência faz com que se torne obrigatório a realização do manejo destas plantas. Existem vários métodos de manejo de plantas daninhas, entretanto o método mais utilizado é o manejo químico com a utilização de herbicidas. O uso incorreto e repetitivo de herbicidas vem provocando a seleção de biótipos com resistência (FREITAS et al., 2011; GHANIZADEH; HARRINGTON, 2017). A resistência é um fenômeno natural, que pode ocorrer em qualquer população de plantas, isto porque existe variabilidade genética natural entre os indivíduos. A variabilidade é responsável pelo início da seleção de resistência (KISSMANN, 1999; NEVILL et al., 1998).

A primeira espécie resistente foi identificada nos Estados Unidos, na década de 70, a seleção de espécies resistentes evoluiu rapidamente. Atualmente existem 258 registros de espécies de plantas daninhas com resistência simples ou múltipla a herbicidas (HEAP, 2020). A partir de 1971 identificou-se plantas de *Amaranthus* com resistência simples ou múltipla a diversos herbicidas, como os inibidores da fotossíntese no fotossistema I e II (Fotos I e II), inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS), inibidores de 5-enolpiruvato-chiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), inibidores da protoporfirinogênio oxidase, inibidores de auxinas sintéticas (O) inibidores da formação de microtúbulos e inibidores da biossíntese de carotenoides (HEAP, 2020).

No Brasil também se encontram plantas resistentes a vários herbicidas, contudo o mais citado é ALS. O uso repetitivo de inibidores de ALS é realizado desde 1982, pois são herbicidas seletivos e controlam plantas daninhas angiospermas dependendo da estrutura química do herbicida. Existem diversos grupos de herbicidas que agem na enzima ALS, todavia os que mais se destacam são as imidazolinonas (CARVALHO, 2013). A maioria dos casos de resistência a ALS foram causados por mutações pela substituição de aminoácidos na ALS.

Este estudo possui como hipótese que se existe variação genética entre as diferentes espécies de *Amaranthus*, então existe variação no nível de resistência de *Amaranthus* ao herbicida imazetapir que é um inibidor de ALS. O objetivo foi avaliar a existência de resistência de espécies de *Amaranthus* ao herbicida inibidor de ALS.

6.3 Material e Métodos

6.3.1 Delineamento experimental

Os experimentos foram conduzidos entre maio de 2016 e abril de 2017, em casa de vegetação nas dependências da Universidade de Passo Fundo (UPF). Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições.

6.3.2 Procedimentos

Realizou-se um experimento testando as espécies de caruru pré-selecionadas no Capítulo 1, *Amaranthus viridis*, *Amaranthus lividus*, *Amaranthus spinosus*, *Amaranthus hybridus*, *Amaranthus retroflexus* suscetível e *Amaranthus retroflexus* resistente aos herbicidas inibidores de ALS. Os tratamentos foram compostos por imazetapir (106 g de i. a ha⁻¹) em diferentes doses (0 Dose (D); 0,12 D; 0,25 D; 0,5 D; 0,75 D; 1 D; 2 D; 4 D; 8 D; 16 D; 32 D e 64 D). Assim as doses que constituíram os tratamentos foram: 0; 13,25; 26,5; 53; 79,6; 106; 212; 424; 848; 1696; 3392 e 6784 g i. a. ha⁻¹.

Os experimentos foram realizados em dois anos, em condições de temperatura distintas, para maior segurança dos dados coletados. O primeiro implantou-se em julho de 2016, durante este período a temperatura média foi de 20°C, ressalta-se que se manteve a casa-de-vegetação fechada nos períodos de menor temperatura para evitar lesões foliares. O segundo período de estabelecimento do experimento foi em dezembro de 2017, onde a temperatura média durante o cultivo foi 26°C.

A semeadura foi realizada em bandejas alveoladas contendo cem (100) células. No estágio de duas folhas verdadeiras (V2), transplantou-se as plantas para as unidades experimentais, que consistiram em vasos de 17 cm de diâmetro e 14 cm de altura, com capacidade volumétrica de 0,0453 m², preenchidos com solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico (SANTOS et al., 2018), e substrato comercial tipo Turfa Fértil® e adubados com fertilizante mineral fórmula 08-25-20. Colocou-se 4 plantas distribuídas equidistantemente em cada vaso. A posição dos vasos foi alterada periodicamente, a fim de obter condições experimentais homogêneas.

Quando as plantas atingiram o estágio de desenvolvimento de quatro folhas verdadeiras desenvolvidas (V4), retirou-se os vasos da casa de vegetação para a aplicação do herbicida imazetapir nas diferentes doses. A aplicação foi realizada com pulverizador tipo CO₂, regulado para aplicação de 200 L de calda por ha⁻¹, na altura de 50 cm acima do alvo. Após a aplicação os vasos foram deslocados para o interior da casa-de-vegetação e permaneceram sem irrigação por 24 horas, a fim de não interferir na absorção do herbicida.

A avaliação de controle visual, redução de porte foi realizada aos 14 e 35 dias após a aplicação (DAA) do herbicida. Para o controle visual se utilizou como base a escala percentual, em que a nota 0% correspondeu a nenhum efeito do herbicida e a nota 100% a morte das plantas. Para avaliação de redução de porte utilizou-se régua medindo da base do solo até o ápice sem distender as folhas.

Também se avaliou a massa seca (MS) aos 14 e 35 DAA coletando-se duas plantas por vaso, se acondicionou o material em sacos de papel identificados e fez-se a remoção

de umidade em forno de secagem com temperatura a 60 °C. Após o material atingir peso constante pesou-se em balança de precisão para avaliar o acúmulo de massa seca. Os valores de MS foram transformados para percentuais, partindo-se do princípio de que as parcelas que permaneceram sem aplicação de herbicida possuíam 100% de MS e as demais possuíam percentuais desta biomassa, em consequência da redução imposta pelos herbicidas (BECKIE et al., 2012).

6.3.3 Análises estatísticas

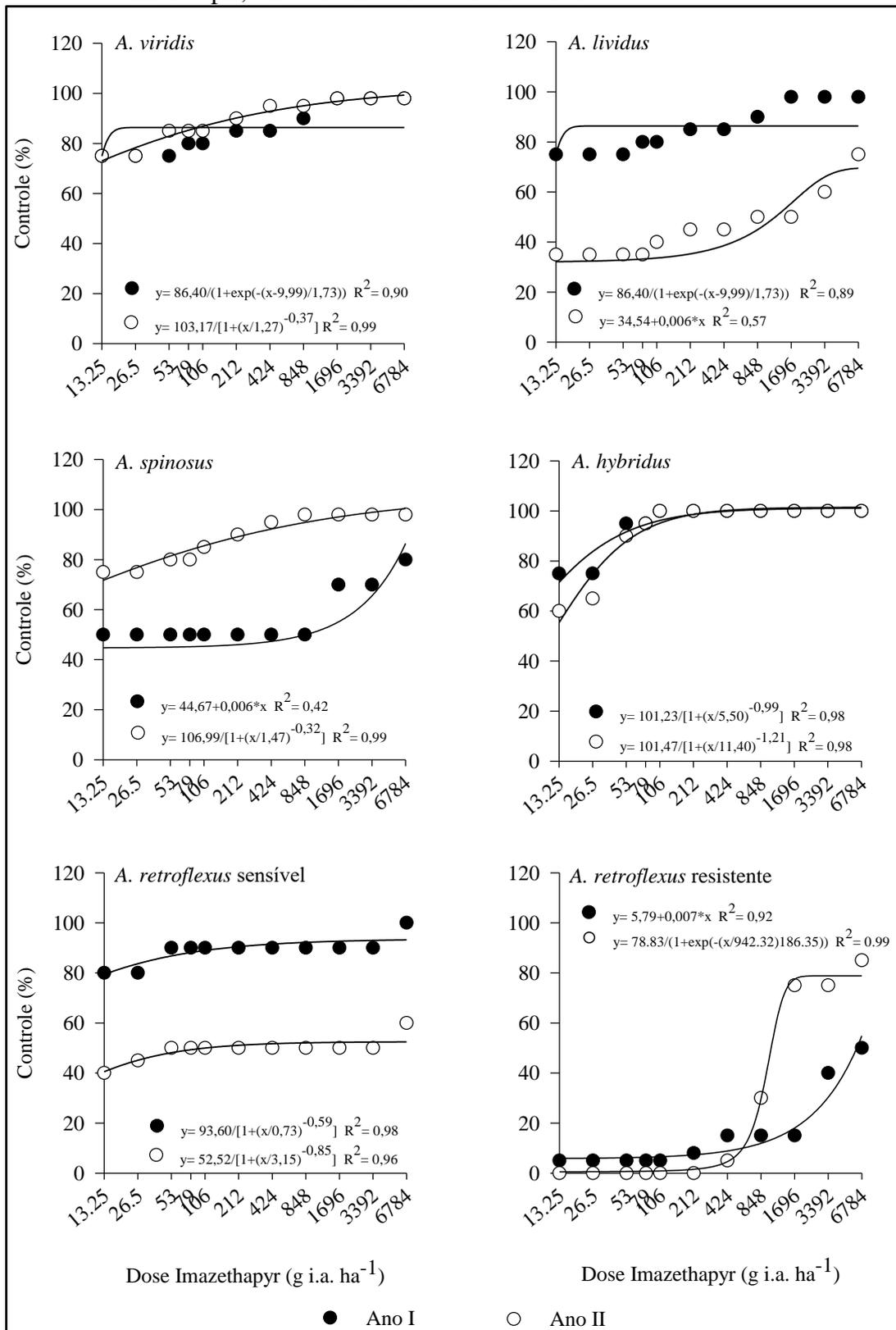
Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando significativos se realizou análise de regressão. Para a produção da curva de controle visual, MS e redução de porte, se utilizou o modelo não linear exponencial de declínio duplo de quatro parâmetros sugerido por Beckie et al. (2012).

Para confirmar a resistência dos biótipos de *A. retroflexus* se calculou o fator de resistência através da razão entre a dose letal para 50% da população de plantas (DL50) do biótipo resistente (R) em relação ao biótipo suscetível (S). O fator F ($F=R/S$) expressa o número de vezes em que a dose necessária para controlar 50% do biótipo resistente é superior à dose que controla 50% do biótipo suscetível (HALL et al., 1998).

6.4 Resultados e Discussão

O controle visual obtido a partir da aplicação do herbicida imazetapir variou de acordo com a espécie e biótipo estudado para ambas as doses e anos (Figuras 2 e 4). De acordo com os resultados demonstrados na Figura 2, aos 14 DAA, todas as espécies estudadas caracterizadas como suscetíveis atingiram controle visual de 50% com doses inferiores a recomendada de 106 g i a. ha⁻¹ de imazetapir, embora haja uma diferença de suscetibilidade entre as espécies de *Amaranthus*, principalmente quando são utilizadas doses abaixo da recomendada. Destaca-se que o *A. viridis* e *A. retroflexus* biótipo suscetível apresentam a maior suscetibilidade pois obteve-se controle visual superior a 75% com 25% da dose recomendada.

Figura 2 - Controle em espécies de *Amaranthus* e equação aos 14 dias após a aplicação de imazetapir, em dois anos. Passo Fundo-2017



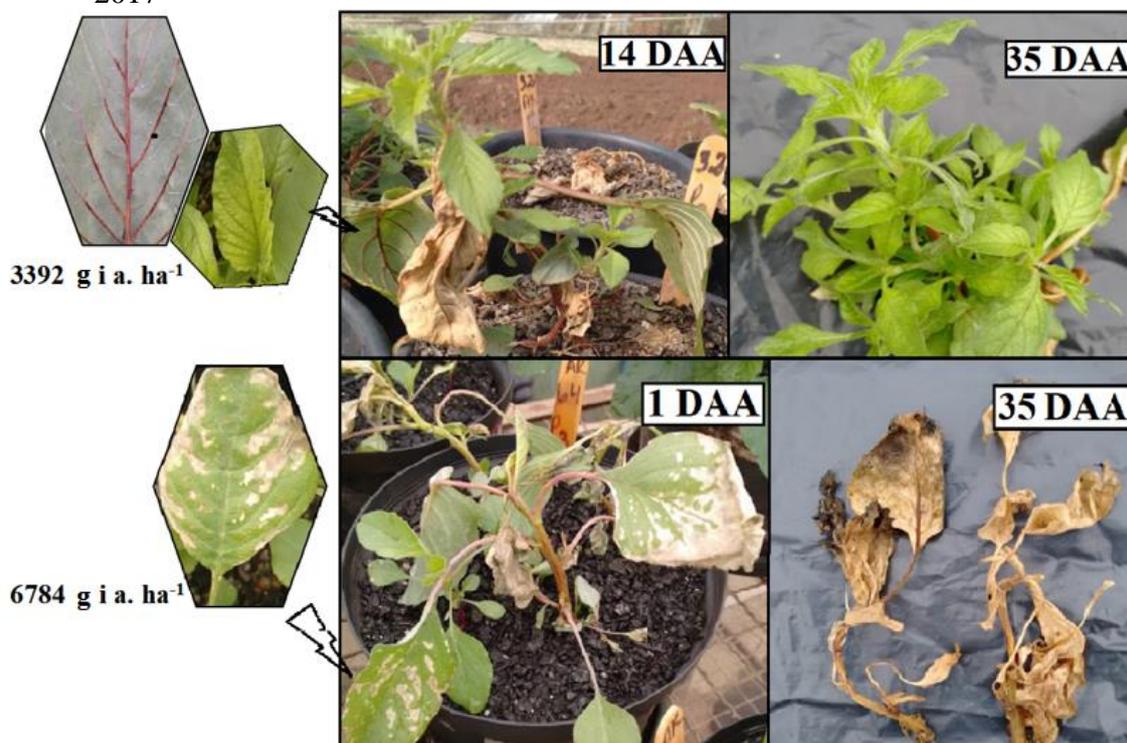
Acreditava-se que a variação de temperatura em 6 °C impactasse na redução da expressão dos sintomas, causado pelo herbicida, visto que este é de ação sistêmica. Entretanto, somente observou-se menor controle visual para espécie de *A. spinosus*, sendo que a menor temperatura causou a redução do controle em 32%. *Amaranthus viridis* e *A. hybridus* mantiveram o mesmo comportamento independente da temperatura. Em contrapartida o *A. lividus* se diferenciou dos demais, esse reduziu em 35% o nível de controle visual na dose de 106 g i a. ha⁻¹ com a elevação da temperatura no segundo ano.

No primeiro ano o herbicida imazetapir causou o controle de 50% das plantas do biótipo suscetível com a dose de 13,25 g i a. ha⁻¹ já no segundo ano foi necessária a dose 53 g i a. ha⁻¹ para atingir o mesmo nível de controle. Entretanto para o biótipo resistente não se alcançou controle eficiente nem mesmo com a maior dose aplicada. No primeiro ano se alcançou 50% de controle visual e no segundo 80%. Porém fica evidente que o controle não foi causado pela ação de inibição da enzima ALS, pois os sintomas apresentados por essas plantas não foram compatíveis com os descritos na literatura. Descreve-se que quando plantas suscetíveis são tratadas com este herbicida os sintomas iniciais não podem ser vistos externamente, pois ocorre a ligação entre a enzima ALS e a molécula herbicida, assim não ocorre a formação do acetolactato, que é indispensável para a formação dos aminoácidos. A paralização na síntese dos aminoácidos leva a uma interrupção na divisão celular e paralização do crescimento das plantas, seguido por manchas cloróticas, avermelhamento das nervuras e encarquilhamento com posterior necrose e morte. Também é possível observar em alguns casos o bronzeamento das folhas, estas tornam-se marrons. Ocorre a necrose das gemas apicais, brotações laterais e do nó que liga o pecíolo foliar a haste, causando a abscisão das folhas (ROMAN et al., 2007; ZHOU et al., 2007).

Entretanto os sintomas que se observou nas maiores doses aplicadas de 3392 e 6684 g i a. ha⁻¹ foi que em menos de 24 horas, as plantas já apresentavam sintomas visuais (Figura 4). Iniciou-se com manchas encharcadas de coloração verde escuro estas progrediram rapidamente para tons de marrom-caramelo seguido por necrose e rápida desidratação das áreas tratadas. Após a desidratação total das áreas tratadas observou-se manchas esbranquiçadas. Na dose 6684 g i a. ha⁻¹ em sequência as manchas, ocorreu a

abscisão total das folhas e morte da planta, mas surpreendentemente na dose de 3392 g i a. ha⁻¹ não ocorreu este mesmo comportamento, se identificou que as plantas não sessaram seu desenvolvimento, alguns dias após terem sido submetidas a aplicação iniciaram a expandir suas gemas laterais e estas se diferenciaram em inúmeras ramificações. Isso indica que o herbicida não foi absorvido pela planta alvo, o herbicida não atingiu o local de ação, não ocorreu a ligação entre o herbicida a enzima ALS inibindo a produção de aminoácidos, a alta concentração fez com que o mesmo agisse como um herbicida de contato.

Figura 3 - Sintomatologia apresentada pelo biótipo de *Amaranthus retroflexus* resistente submetido a aplicação de imazetapir nas doses de 3392 g i a. ha⁻¹ (32 vezes a dose recomendada) e 6684 g i a. ha⁻¹ (64 vezes a dose recomendada). Passo Fundo – 2017



O comportamento observado foi muito semelhante ao descrito por Martins (2013) em sua revisão de literatura sobre o herbicida paraquat, este é um herbicida de contato classificado como não seletivo atuando localmente. Este tipo de herbicida não deve ser utilizado no controle de espécies perenes de reprodução vegetativa, pois permite que ocorra rebrote. Acredita-se que pela alta concentração do herbicida imazetapir em alguns

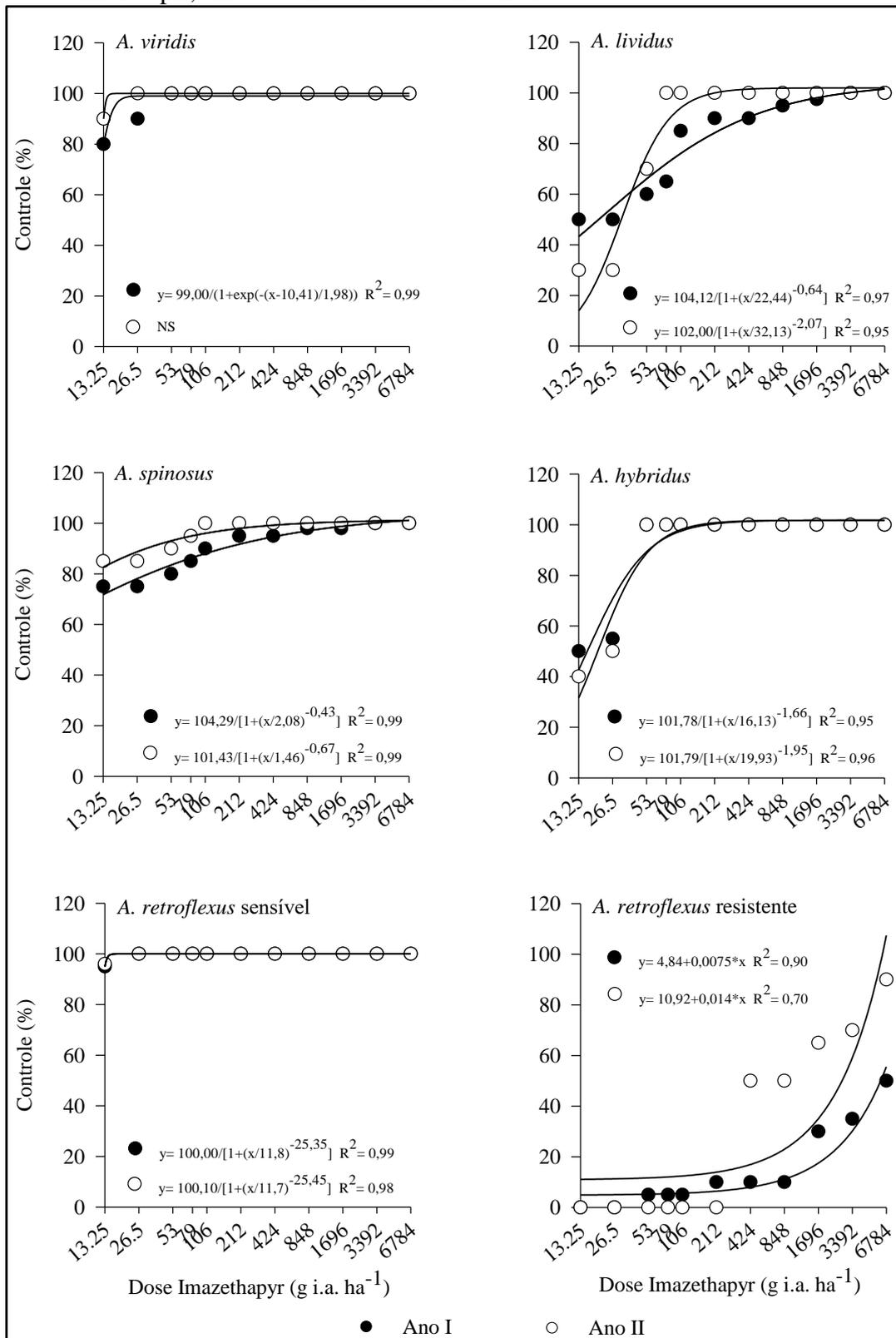
dos tratamentos, o herbicida tenha se comportado como de contato. Supõem-se que ao passar pela cutícula entrou rapidamente em contato com a parede celular, porém invés dele se movimentar até seu local de ação, a alta concentração causou um desequilíbrio de cargas e isso desencadeou estresse oxidativo. O estresse por sua vez culminou na desestruturação da parede celular da área tratada, formando as manchas encharcadas (Figura 3).

Aos 35 DAA só se identificou variação entre os biótipos de *A. retroflexus* (Figura 4), as demais espécies apresentaram comportamento semelhante, atingiram nível de controle visual acima de 90% com dose inferior a recomendada para o herbicida imazetapir.

Quando se comparou os biótipos de *A. retroflexus* obteve-se ampla variação, o biótipo suscetível atingiu 100% de controle com a dose de 265 g i a. ha⁻¹, nos dois períodos testados. Esta dose é 3 vezes menor que a recomendada, isso evidencia que o biótipo é extremamente suscetível a este mecanismo de ação. Já a curva de dose resposta para o biótipo resistente mostra baixa eficácia do herbicida. Obteve-se o primeiro impacto em controle com a dose de 424 g i a. ha⁻¹ esta é duas vezes maior que a recomendada e só atingiu 50%, o máximo controle observado no primeiro ano foi de 78% na dose 3392 g i a. ha⁻¹ esta é trinta e duas vezes maior que a recomendada. No segundo ano obteve-se a melhor resposta na dose de 6784 g i a. ha⁻¹, porém, só atingiu 50% de controle. Isso evidencia que este biótipo é resistente ao herbicida imazetapir, pois não se obteve controle igual ou superior a 80%.

Comparando-se as avaliações aos 14 DAA e 35 DAA é possível perceber a evolução no percentual de controle, sendo que se obteve controle satisfatório de praticamente todas as plantas de *Amaranthus* utilizadas neste trabalho, exceto o biótipo de *A. retroflexus* resistente. Destaca-se ainda que a dose de imazetapir necessária para o efetivo controle de 80% das plantas tratadas foi em geral menor que a dose recomendada de 106 g i a. ha⁻¹.

Figura 4 - Controle de plantas de *Amaranthus* e equação aos 35 dias após a aplicação de imazetapir, em dois anos. Passo Fundo-2017



Na Tabela 1 encontram-se as doses do herbicida imazetapir que proporcionaram controle de 50% das cinco espécies do gênero *Amaranthus* estudadas. De acordo com a fórmula proposta por Hall et al. (1988), valores de DL50 correspondem à dose necessária para controlar 50% da população de plantas. Observando os valores, nota-se tendência à suscetibilidade diferencial entre as espécies de *Amaranthus* aos herbicidas inibidores da enzima ALS aplicados em pós-emergência, visto que apresentaram variação da dose de acordo com a espécie. Nas últimas duas décadas vários autores tem testado a suscetibilidade diferencial entre espécies de *Amaranthus* para diferentes herbicidas e mecanismos de ação. Franceschini et al. (2013) testando os herbicidas trifloxysulfuron-sodium e pyriithiobac-sodium inibidores de ALS, obtiveram que *A. hybridus* e *A. lividus* são mais suscetíveis em relação a *A. deflexus* e *A. spinosus*. Carvalho et al. (2015) mostram em seus estudos que *A. hybridus* é mais suscetível que o *A. palmeri* a aplicação de glifosato. Em síntese, acredita-se que a partir dos dados de suscetibilidade diferencial seria possível realizar recomendações de doses específicas de herbicidas em função das espécies de *Amaranthus* presentes nas áreas agrícolas, reduzindo assim os custos de produção e elevando a eficiência no controle.

Tabela 1 - Dose necessária para controlar 50% das plantas em relação as plantas não tratadas (DL50) e fator de resistência (F) das espécies sensíveis e o biótipo resistente de *Amaranthus* aos 14 e 35 dias após aplicação (DAA) de imazetapir. Passo Fundo, RS, 2017

Espécies e biótipo de <i>Amaranthus</i>		Época	DL50	Fator F
<i>A. viridis</i>		14	6,99	-
		35	5,03	-
<i>A. lividus</i>		14	98,80	-
		35	40,40	-
<i>A. spinosus</i>		14	11,21	-
		35	6,51	-
<i>A. hybridus</i>		14	10,94	-
		35	17,55	-
<i>A. retroflexus</i>	Resistente	14	4497,50	204,46
	Suscetível	14	21,74	
<i>A. retroflexus</i>	Resistente	35	4110,00	1370
	Suscetível	35	2,97	

Calculou-se o fator F a partir das fórmulas apontadas nas curvas das Figuras 2 e 4, aos 14 DAA, identificou-se a necessidade de utilizar 204,46 vezes a dose necessária para controlar 50% do biótipo resistente. E aos 35 DAA a dose necessária para o controle do *A. retroflexus* biótipo resistente foi ainda maior, 1370 vezes. Comparando-se as duas épocas observou-se que o fator F foi 6,7 vezes superior. Infere-se que este comportamento está diretamente ligado ao mecanismo de ação do herbicida, imazetapir é de ação sistêmica, caracterizado por sua ação lenta pode levar até 15 dias para que os sintomas comecem a se expressar (ROMAN et al., 2007).

A aplicação do herbicida imazetapir em diferentes doses impactou significativamente na redução do acúmulo de massa seca das plantas de *Amaranthus* aos 14 DAA e 35 DAA (Figura 5 e 9), entretanto quando comparou-se os períodos somente o biótipo resistente mostrou variação expressiva. Pode-se observar na Figura 5 que todas as plantas caracterizadas como suscetíveis reduziram o percentual de massa seca já nas primeiras doses aplicadas, isso era esperado a partir dos resultados obtidos no controle visual. O primeiro sintoma visual causado pelo herbicida é a paralização do crescimento, isso se evidencia na análise realizada aos 35 DAA, quando se observa a média entre os dois períodos descritos na curva de dose-resposta como Ano 1 e Ano 2, obteve-se redução de 70% no acúmulo de massa seca em relação as plantas não tratadas *A. viridis*, para *A. lividus* 85%, *A. spinosus* 90%, *A. hybridus* 98%, *A. retroflexus* biótipo suscetível 91% e o biótipo resistente 35%.

A resposta a aplicação do herbicida imazetapir no biótipo resistente variou. No primeiro ano com temperaturas menores observou-se que com o aumento da dose elevou a redução da massa seca, entretanto no segundo ano a temperatura em média 6 °C maior impactou no comportamento das plantas tratadas. A partir da dose 424 g i a. ha⁻¹ que é 4 vezes superior a dose recomendada obteve-se rebrote expressivo das gemas axilares. Isso se evidenciou aos 21 DAA (Figura 6), acredita-se que isso se deva a quebra da dominância apical.

Em doses elevadas o herbicida atuou de forma distinta, caracterizando-se como de contato, causando lesões expressivas e levando a planta a senescência das gemas apicais e folhas, então ocorreu o expressivo desenvolvimento das gemas laterais. Outro ponto que chama atenção é que no segundo ano o percentual de massa seca, se elevou em relação as plantas não tratadas nas doses de 13,25; 265 e 530 g i a. ha⁻¹, estas são inferiores a recomendada. Acredita-se que o estresse causado pelo herbicida possa ter influenciado na elevação do acúmulo de reserva na haste, impactando no aumento do peso da massa seca.

Figura 6 - Controle de plantas de *A. retroflexus* resistente aos 21 dias após a aplicação de doses distintas do herbicida imazetapir. Passo Fundo- 2017



Aos 35 DAA obteve-se menor acúmulo de massa seca total para os biótipos sensíveis em relação ao obtidos aos 14 DAA, possivelmente isso ocorre em virtude da decomposição. As espécies suscetíveis foram controladas eficientemente aos 7 DAA e já se observou paralização de crescimento. Aos 14 DAA parte das estruturas morfológicas como folhas e ápice apresentavam elevado grau de lesões e necrose. Aos 21 DAA se observou a morte total das plantas (Figura 7). A partir da morte dos tecidos as plantas iniciaram seu processo de decomposição, então aos 35 DAA o percentual de massa seca acumulada foi menor que o obtido aos 14 DAA.

Obteve-se variação significativa entre o primeiro e segundo ano, a decomposição foi maior no segundo ano, acredita-se que isso está correlacionado com a temperatura deste período ser superior em 6 °C (Figura 1). Após a aplicação das diferentes doses de

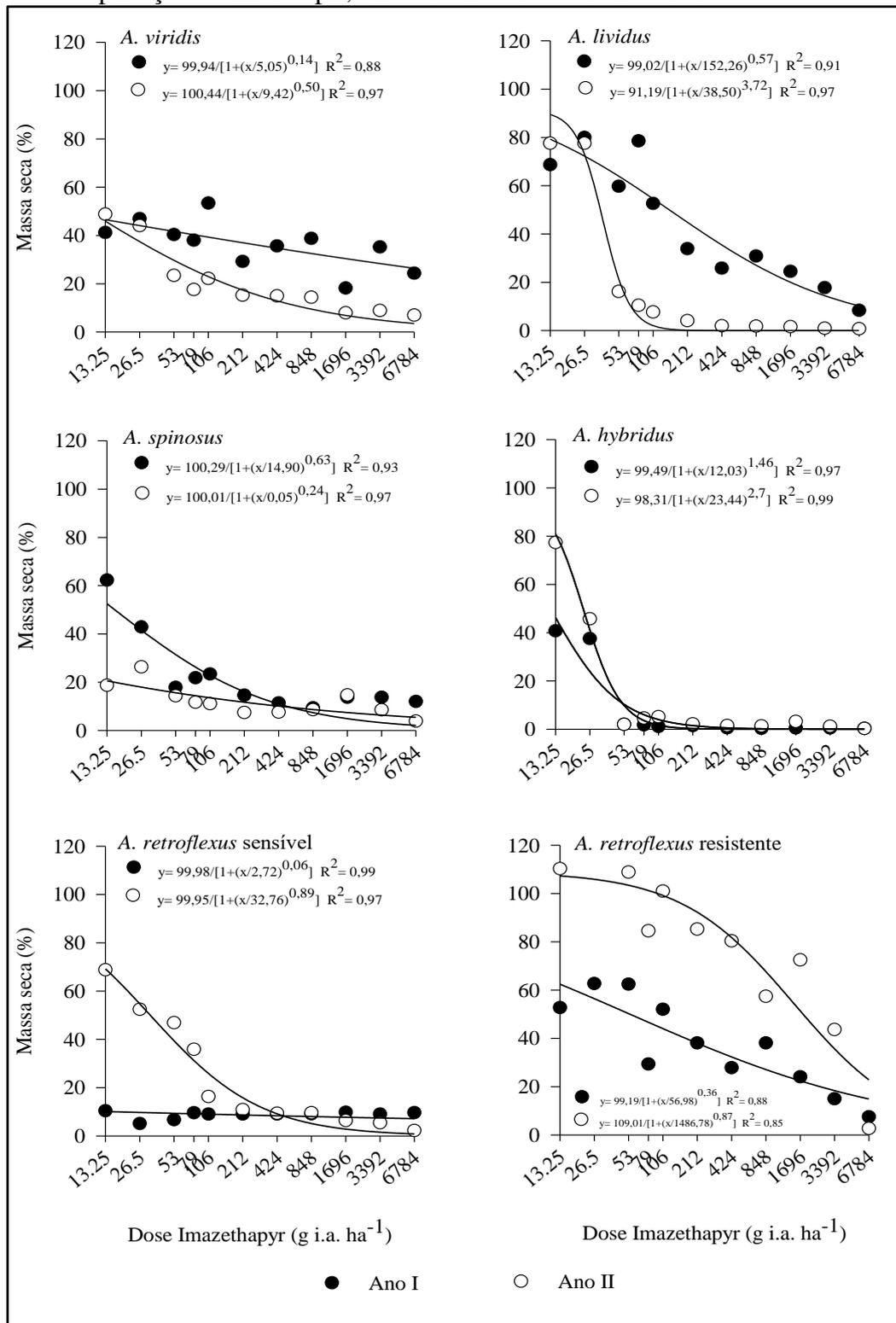
herbicida, as plantas tratadas ficaram expostas as mesmas condições de umidade e temperatura até a avaliação final aos 35 DAA, estas condições permitiram o rebrote das plantas com menor suscetibilidade ao herbicida biótipo de *A. retroflexus* resistente. Todavia, isso favoreceu a decomposição das plantas suscetíveis, as condições elevadas de umidade e temperatura permitiram que os microrganismos realizassem a decomposição das estruturas vegetais como pode ser observado para o *A. lividus* na Figura 7.

Figura 7 - Controle de plantas de *A. lividus* aos 21 dias após a aplicação de doses distintas do herbicida imazetapir. Passo Fundo- 2017



Para Costa e Sangakkara (2006) a taxa de decomposição de estruturas orgânicas compostas por carbono são complexas, isso porque não é dependente somente de um fator, mas de vários. Descreve-se como os principais fatores os climáticos temperatura e umidade, lignificação dos compostos orgânicos, quantidade de microrganismos. A aplicação do herbicida imazetapir foi realizada em V3, nesta fase vegetativa as plantas apresentam baixa lignificação, pois eram plantas jovens, isso associado as elevadas temperaturas e umidade elevou a taxa de decomposição. O que se torna evidente quando se compara os percentuais de massa seca acumulada apresentados nas curvas de dose-resposta aos 14 e 35 DAA (Figura 5 e 8).

Figura 8- Massa seca acumulada por plantas de *Amaranthus* e equação aos 35 dias após a aplicação de imazetapir, em dois anos. Passo Fundo-2017



A DL necessária para reduzir a massa seca das plantas em 50% variou entre as espécies e biótipos (Tabela 2). O *A. viridis*, *A. spinosus* e *A. hybridus* necessitam de doses 4,2 e 1,7 vezes menor que o *A. lividus* e *A. retroflexus* biótipo suscetível respectivamente. Para o biótipo resistente calculou-se o fator F para 14 DAA e 35 DAA indicou que é necessário utilizar 27,21 e 55,69 vezes a dose necessária do herbicida para reduzir 50% da massa seca das plantas resistentes em relação as plantas suscetíveis respectivamente.

Sabe-se que para um produto ser considerado eficaz ele precisa controlar eficientemente 80% da população (HEAP, 2020), então baseado nos dados apresentados na Tabela 2 e nas Figuras 5 e 8 é possível inferir que as espécies *A. viridis*, *A. lividus*, *A. spinosus*, *A. hybridus* e *A. retroflexus* biótipo suscetível são eficientemente controlados pelo herbicida imazetapir.

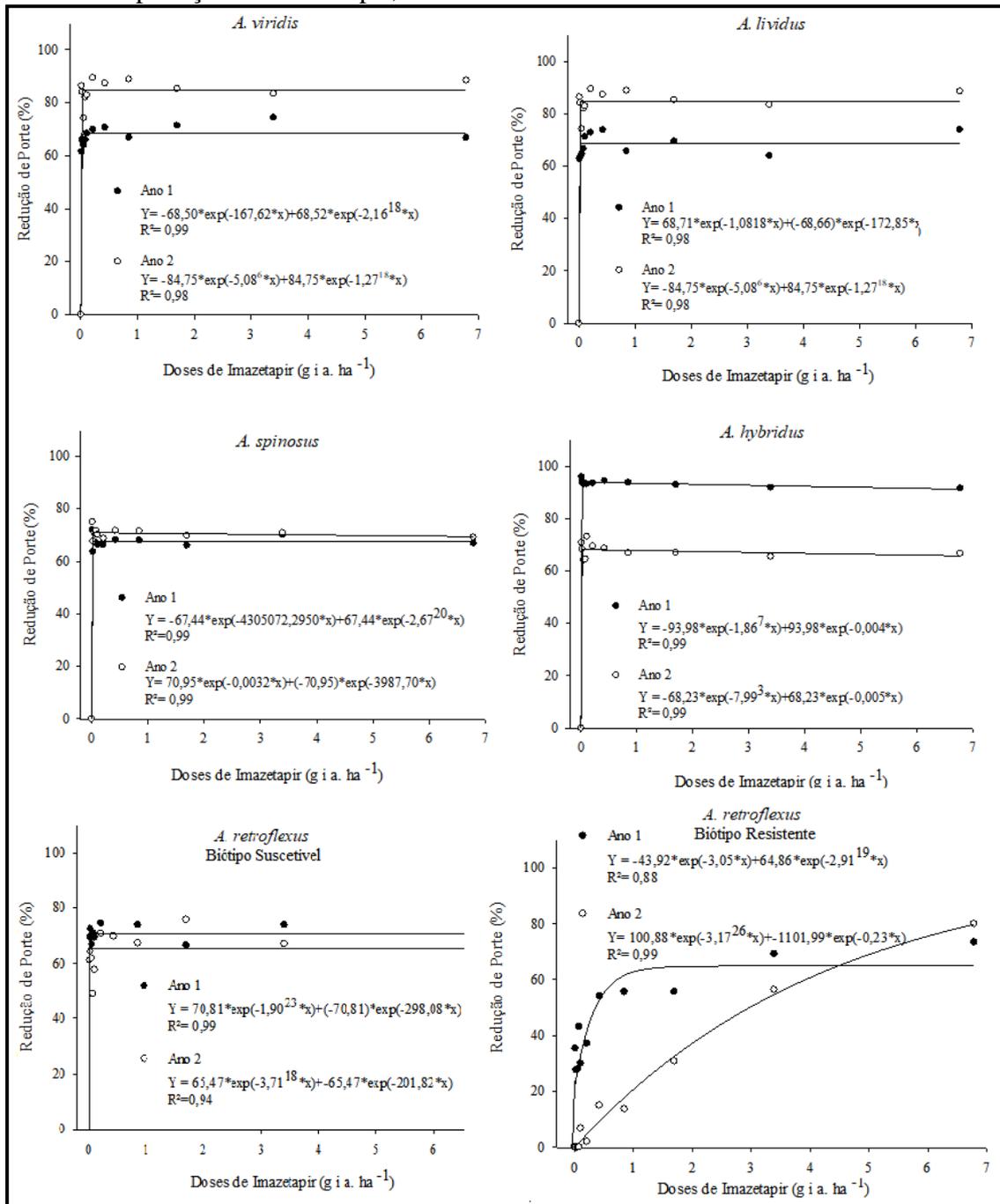
Tabela 2 - Dose necessária para reduzir a massa seca das plantas em 50% em relação as plantas não tratadas (DL50) e fator de resistência (F) das espécies sensíveis e o biótipo resistente de *Amaranthus* aos 14 e 35 dias após aplicação (DAA) de imazetapir. Passo Fundo, RS, 2017

Espécies e biótipo de <i>Amaranthus</i>		Época	DL50	Fator F
<i>A. viridis</i>		14	10,66	-
		35	10,65	-
<i>A. lividus</i>		14	5,09	-
		35	82,20	-
<i>A. spinosus</i>		14	6,62	-
		35	12,41	-
<i>A. hybridus</i>		14	5,37	-
		35	16,32	-
<i>A. retroflexus</i>	Resistente	14	1363,00	27,21
	Suscetível	14	50,10	
<i>A. retroflexus</i>	Resistente	35	1123,05	55,69
	Suscetível	35	20,17	

Ao avaliar as curvas de dose resposta para redução de porte aos 14 DAA observou-se variação entre as espécies e períodos (Figura 9). Para os biótipos *A. viridis*, *A. lividus* ocorreu a redução de 32% do porte no primeiro ano de condução do experimento, já no segundo ano o impacto em redução só atingiu 15%. Em contrapartida para o *A. hybridus* observou-se maior redução de porte no segundo ano chegando a 30%. O *A. spinosus* apresentou comportamento semelhante entre os dois períodos, obteve-se para esta espécie

a redução de porte em 30% na primeira dose aplicada 13,25 g i a. ha⁻¹ está 5 vezes menor que a dose recomendada, indicando assim seu alto grau de suscetibilidade ao herbicida.

Figura 9 - Redução de porte de plantas de *Amaranthus* e equação aos 14 dias após a aplicação de imazetapir, em dois anos. Passo Fundo-2017



Ocorreu grande variação no comportamento das curvas entre as espécies e períodos, o *A. retroflexus* biótipo suscetível reduziu somente 10% do seu porte no primeiro ano, entretanto no segundo ano a redução chegou a 50%. Por outro lado, o comportamento do biótipo resistente seguiu a via contrária, no primeiro ano chegou a reduzir 70% e no segundo ano 80% (Figura 11 e 12). A controvérsia se explica pela ótica que as plantas suscetíveis foram controladas totalmente, já as plantas resistentes sentiram o impacto do herbicida, porém estas não foram controladas, ou seja, a variação expressiva na redução de porte só ocorreu para o biótipo resistente.

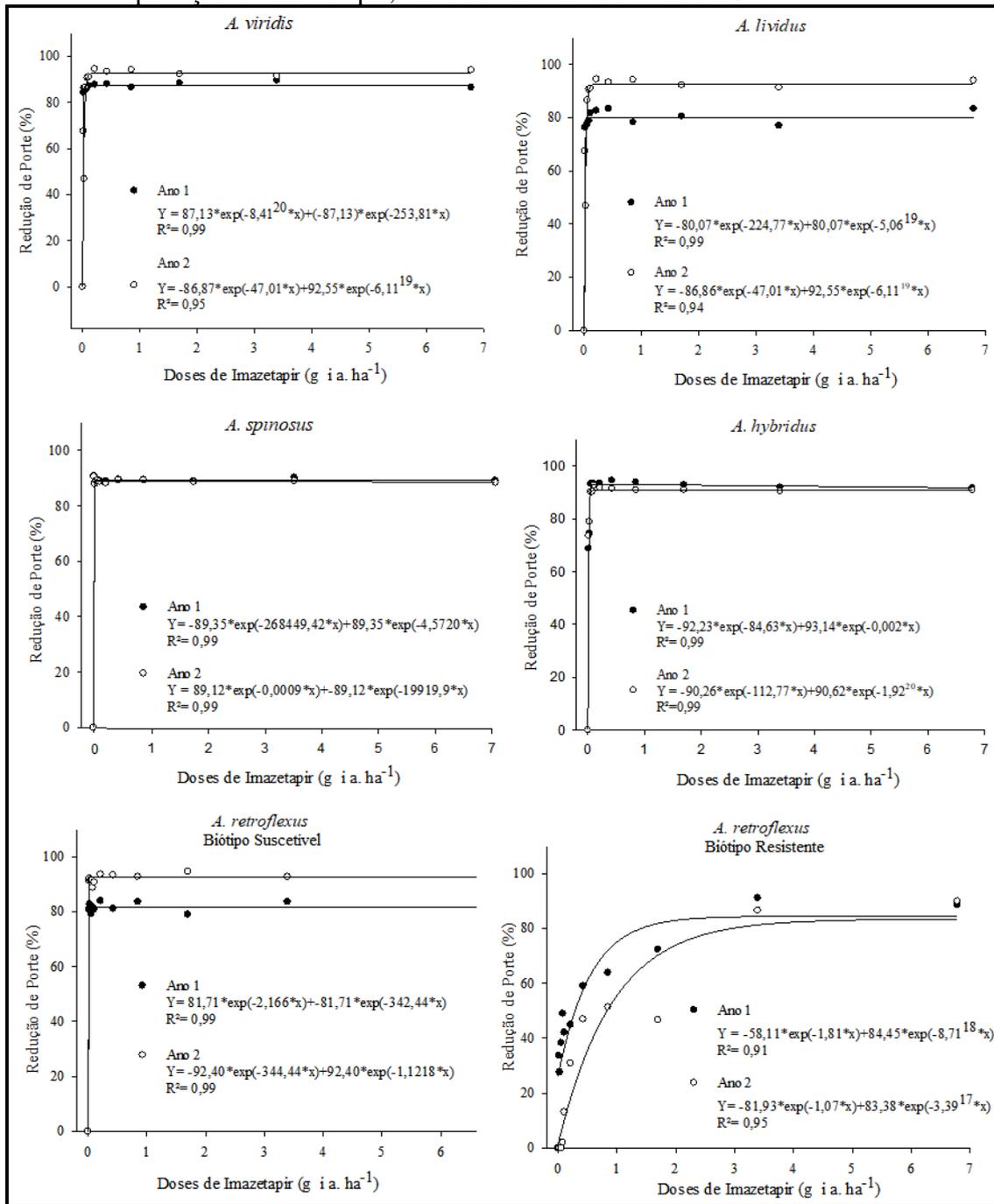
A redução de porte no biótipo resistente não se manteve ao longo do tempo, o biótipo de *A. retroflexus* resistente retomou seu desenvolvimento e chegou aos 35 DAA com um impacto de redução de porte de 19% e 8% no primeiro e segundo ano de condução do experimento respectivamente (Figura 11). Contudo as doses necessárias para causar tal impacto são altíssimas, deseceis, trinta e duas e sessenta e quatro vezes superior ao recomendado isso é considerado economicamente e ambientalmente inviáveis até mesmo porque não chega a atingir 80% de controle que é o índice mínimo para se considerar a eficácia de um herbicida.

As demais espécies *A. viridis*, *A. lividus*, *A. spinosus*, *A. hybridus* e *A. retroflexus* biótipo suscetível (Figura 10) não apresentaram variação entre os períodos estudados, pois os biótipos sensíveis foram controlados de forma eficaz. Aos 21DAA se observou o controle total das plantas tratadas.

Figura 10- Controle de plantas de *A. retroflexus* suscetível aos 21 dias após a aplicação de doses distintas do herbicida imazetapir. Passo Fundo- 2017



Figura 11 - Redução de porte de plantas de *Amaranthus* e equação aos 35 dias após a aplicação de imazetapir, em dois anos. Passo Fundo-2017



Encontram-se na Tabela 3 a DL50 para redução de porte observando os valores, nota-se tendência à sensibilidade diferencial como já relatado para massa seca. O fator F a partir das formulas apontadas nas curvas das Figuras 9 e 11, aos 14 DAA, identificou-

se a necessidade de utilizar 287,09 vezes a dose necessária para controlar 50% do biótipo suscetível. E aos 35 DAA a dose necessária para o controle do *A. retroflexus* biótipo resistente foi ainda maior, 222,42 vezes.

Tabela 3 - Dose necessária para reduzir o porte das plantas em 50% em relação as plantas não tratadas (DL50) e fator de resistência (F) das espécies sensíveis e o biótipo resistente de *Amaranthus* aos 14 e 35 dias após aplicação (DAA) de imazetapir. Passo Fundo, RS, 2017

Espécies e biótipo de <i>Amaranthus</i>		Época	DL50	Fator F
<i>A. viridis</i>		14	3,91	-
		35	9,28	-
<i>A. lividus</i>		14	3,78	-
		35	9,80	-
<i>A. spinosus</i>		14	0,20	-
		35	0,02	-
<i>A. hybridus</i>		14	0,01	-
		35	8,05	-
<i>A. retroflexus</i>	Resistente	14	1668,00	287,09
	Suscetível	14	5,81	
<i>A. retroflexus</i>	Resistente	35	560,50	222,42
	Suscetível	35	2,52	

Quando se compara as DL50 de controle visual, percentual de massa seca e percentual de redução de porte observa-se ampla variação, isso se deve a subjetividade das avaliações de controle visual e redução de porte. Então a avaliação de massa seca é a mais eficaz de avaliar o real impacto proporcionado pela utilização do herbicida sobre as plantas tratadas.

Através dos resultados calculados de DL50 e fator F, para a variável massa seca aos 14 e 35 DAA, confirmou-se a resistência do biótipo de *A. retroflexus* ao herbicida imazetapir. Uma vez que o fator F encontrado foi superior a 10 seguindo o que é proposto por HEAP (2020). Dias et al. (2015) destacam que geralmente a resistência em *Amaranthus* está relacionado a alteração do local de ação. Esta informação valida os dados encontrados, se de fato o herbicida deixou de se unir com a enzima ALS o grau de resistência é altíssimo, como o encontrado neste estudo.

6.5 Conclusões

Existe variação de suscetibilidade entre as espécies de *Amaranthus*: *A. viridis*, *A. lividus*, *A. hybridus*, *A. spinosus* e *A. retroflexus*.

Amaranthus viridis, *A. lividus*, *A. hybridus*, *A. spinosus* e o biótipo de *A. retroflexus* oriundo de Passo Fundo são controlados eficientemente com o uso de doses inferiores à de registro.

O biótipo de *A. retroflexus* oriundo de Lucas do Rio Verde - MT é resistente ao herbicida imazetapir.

7 CAPÍTULO V

Transferência da resistência de *Amaranthus retroflexus* ao herbicida imazetapir mediante cruzamentos

7.1 RESUMO

O número de relatos de deficiência de controle de plantas de *Amaranthus* quando submetidas a aplicação de herbicidas inibidores de ALS eleva-se verticalmente. Acredita-se que a rapidez na disseminação das resistências, não se deve, somente as mutações do código genético do *Amaranthus*, mas provavelmente, ocorra hibridação interespecífica entre plantas suscetíveis e resistentes. Tem-se como hipótese que se ocorrer a formação de híbridos viáveis a partir do cruzamento entre biótipos resistentes e suscetíveis ao imazetapir, em *Amaranthus* spp, então serão observados, na progênie, indivíduos resistentes e suscetíveis. Objetiva-se com este estudo avaliar se há formação de híbridos viáveis a partir do cruzamento interespecíficos de diferentes espécies de *Amaranthus*. Este experimento foi conduzido de outubro 2017 a janeiro de 2018, em casa de vegetação com ambiente controlado. Os tratamentos consistiram em cinco diferentes espécies de *Amaranthus*, *Amaranthus viridis*, *Amaranthus lividus*, *Amaranthus spinosus*, *Amaranthus hybridus*, *Amaranthus retroflexus* todas as espécies são suscetíveis ao herbicida imazetapir que é inibidor da enzima ALS. Realizou-se a hibridação artificial, esta iniciou quando a primeira flor com pistilo abriu e se manteve durante 2 semanas com a aplicação de pólen da planta doadora (biótipo de *Amaranthus retroflexus* resistente) sobre as plantas receptoras. Não se obteve hibridação interespecífica entre as cinco espécies testadas. Entretanto se constatou hibridação intraespecífica entre os biótipos de *A. retroflexus*, então a hipótese levantada por este estudo não é verdadeira.

Palavras-chave: 1. Hibridação. 2. Acetolactato sintase. 3. Caruru. 4. Autopolinização. 5. Polinização cruzada.

7.2 Introdução

As plantas cobrem grande parte da crosta terrestre se multiplicam e evoluem rapidamente, adaptando-se as variações climáticas e ambientais e invadindo e colonizando novos espaços. A capacidade adaptativa está diretamente correlacionada a diversos fatores evolutivos, tais como mutação, migração, seleção, deriva genética e hibridação (VEASEY et al., 2011). Hibridação é definida como acasalamento natural entre indivíduos de espécies diferentes ou geneticamente distintos, podendo ser de duas ou mais populações (ARNOLD, 2004), ou seja, este evento ocorre associado ao processo de reprodução sexuada. Tal processo resulta em indivíduos híbridos heterozigóticos para um ou mais genes (CAMPBELL; TEITEL e MIRITI, 2016).

As populações de plantas daninhas de reprodução sexuada imprimem vantagem na ocorrência da hibridação, pois conseguem reunir de forma rápida todas as mutações ocorridas nos diferentes indivíduos num curto espaço de tempo. Há evidências de espécies de *Amaranthus* spp resistentes a alguns herbicidas entre eles os inibidores de acetolactato sintase (ALS). A resistência a herbicidas é identificada através da habilidade de uma planta em sobreviver e se multiplicar, após exposição a uma dose de herbicida que normalmente seria letal para o biótipo suscetível da planta (HEAP, 2020).

De acordo com Mariani et al. (2016), são alterações genéticas que causam a resistência, alteração do local de ação, diferença na capacidade metabólica ou compartimentação. Alteração no local de ação é amplamente relatada, esta mutação é causada por alterações na sequência do DNA que codifica a proteína alvo, também chamada de sítio ativo. Todos os herbicidas agem na inibição de enzimas, se ocorreu qualquer alteração tridimensional na proteína, o herbicida não conseguirá se ligar a ela, reduzindo assim, a eficiência do herbicida (DÉLYE et al., 2015). Na maioria dos casos a mutação ocorre pela substituição de aminoácidos na ALS em Ala-205-Val, Trp-574-Leu, Ser-653-Thr estas mutações causam diferentes níveis de resistência nas plantas (CHEN et al., 2015; MOLIN et al., 2016). Impactando na falta de controle eficaz destas plantas em ambientes de cultivo agrícola.

O número de relatos de deficiência de controle de plantas de *Amaranthus* quando submetidas a aplicação de herbicidas inibidores de ALS eleva-se verticalmente. Acredita-se que a rapidez na disseminação das resistências, não se deve, somente as mutações do código genético de *Amaranthus*, mas provavelmente, ocorra hibridação interespecífica entre plantas suscetíveis e resistentes, ocasionando agravamento do problema. Haja visto que uma das formas de distribuição dos genes resistentes é pela polinização, desde que haja compatibilidade entre as espécies, produzindo híbridos viáveis.

Objetiva-se com este estudo avaliar se há formação de híbridos viáveis a partir do cruzamento interespecíficos ou intraespecíficos de diferentes espécies de *Amaranthus*. Tem-se como hipótese que se ocorrer a formação de híbridos viáveis a partir do

cruzamento entre biótipos resistentes e suscetíveis ao imazetapir, em *Amaranthus* spp, então serão observados, na progênie, indivíduos resistentes e suscetíveis.

7.3 Material e Métodos

7.3.1 Delineamento experimental

Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação. no período de outubro de 2017 a maio de 2018 em delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições.

7.3.2 Procedimentos

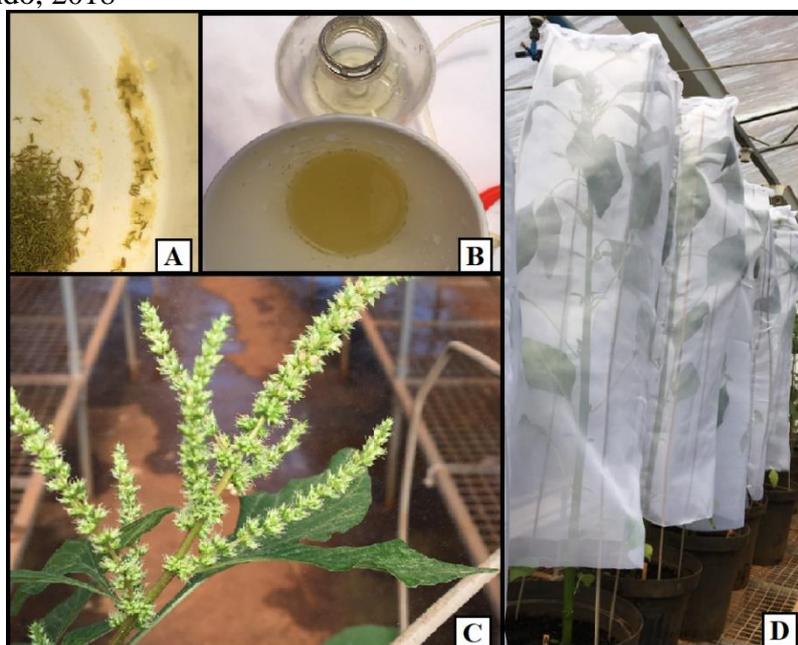
a) Experimento 1- Hibridação interespecífica

Este experimento foi conduzido de outubro 2017 a janeiro de 2018, em casa de vegetação com ambiente controlado. Realizou-se o cruzamento entre o *A. retroflexus* biotipo resistente e as cinco diferentes espécies de *Amaranthus* pré-selecionadas a partir das curvas de dose resposta (Capítulo III), *Amaranthus viridis*, *Amaranthus lividus*, *Amaranthus spinosus*, *Amaranthus hybridus*, *Amaranthus retroflexus* todas as espécies são suscetíveis ao herbicida imazetapir que é inibidor da enzima ALS.

A semeadura foi realizada em bandejas alveoladas contendo cem (100) células. Quando a planta atingiu duas folhas verdadeiras (V2) realizou-se o transplante, para as plantas receptoras (tratamentos) utilizando-se uma planta por vaso de 17 cm de diâmetro e 14 cm de altura, com capacidade volumétrica de 0,0453 m³. Entretanto para as plantas doadoras de pólen utilizou-se quatro plantas por vaso, estas foram transplantadas em períodos distintos, vinte vasos por semana durante 1 mês, totalizando 80 vasos e 320 plantas doadoras de pólen. Para o preenchimento dos vasos utilizou-se como substrato solo, classificado como Latossolo Vermelho distrófico (SANTOS et al., 2018), e uma camada superficial de 15 cm de substrato comercial tipo Turfa Fértil® e adubados com fertilizante mineral fórmula 08-25-20.

A umidade do solo foi mantida através de irrigação manual toda vez que se fez necessário, mantendo o solo em capacidade de campo para o bom desenvolvimento das plantas. A posição dos vasos foi alterada semanalmente, para evitar efeitos de sombreamento entre as plantas, permitindo assim o desenvolvimento homogêneo. Com o intuito de eliminar riscos de contaminação de pólen entre espécies, no início do período reprodutivo as plantas foram isoladas por saco de “Voil”, este isolamento se manteve até o final do período florescimento (Figura 1D).

Figura 1- Processo hibridização interespecífica. A: Pólen coletado de plantas de *Amaranthus retroflexus* biótipo resistentes ao herbicida imazetapir (doadoras); B: Solução de água mais pólen; C: Aplicação da solução no florescimento; D: Isolamento das plantas receptoras com saco de “Voil”. Passo Fundo, 2018



O processo de hibridação artificial iniciou quando a primeira flor com pistilo abriu e se manteve durante 2 semanas com a aplicação de pólen da planta doadora (biótipo de *Amaranthus retroflexus* resistente) sobre as plantas receptoras. O pólen das plantas doadora foi coletado diariamente em um frasco estéril, a partir da agitação das flores contra a parede do frasco (Figura 1A). Após a coleta do pólen, realizava-se a mistura dele com água destilada, sempre mantendo a mesma proporção, 250 ml de água para 1 colher dosadora de 5mm rasa de pólen. Buscando homogeneizar a

solução fez-se agitação circular lenta por 2 minutos, a solução fora acondicionada em um borrifador e aplicada sobre as flores das plantas receptoras (Figura 1B e C).

Após a período de florescimento a proteção em “Voil” foi removida e as plantas foram conduzidas até a senescência. Ao final do experimento coletou-se as sementes produzidas e estas foram utilizadas no experimento II.

b) Experimento 2- Seleção para a descendência híbrida

Se conduziu este experimento entre os meses de fevereiro a abril de 2018, utilizou-se delineamento inteiramente casualizado com 6 repetições. Os tratamentos foram compostos por sementes de cinco espécies que foram polinizadas pelo *Amaranthus retroflexus* biótipo resistente ao imazetapir, este foi selecionado a partir do capítulo III.

Realizou-se a semeadura de 1g de sementes (1000) de cada espécie em vasos tipo floreira de 40 cm de comprimento, 13 cm de altura, 13 de largura com capacidade volumétrica de 0,520 m³, preenchido com solo, classificado como Latossolo Vermelho distrófico (SANTOS et al., 2018), e uma camada superficial de 25 cm de substrato comercial tipo Turfa Fértil® e adubados com fertilizante mineral fórmula 08-25-20.

Quando as plantas estavam em V2 realizou-se desbaste nos vasos que apresentavam população elevada de plantas, mantendo-se 30 plantas por vaso para evitar competição. Quando as plantas atingirem quatro folhas verdadeiras (V4) fez-se a aplicação de imazetapir na dose de 106 g de i.a ha⁻¹. Como um teste de progênie para se avaliar se a resistência ao imazetapir foi transferida. As plantas que sobreviveram foram contabilizadas e se calculou a taxa de hibridação expressando a porcentagem de híbridos formados.

c) Experimento 3- Avaliação do potencial de germinação e IVE entre híbridos e seus parentais

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, utilizou-se delineamento inteiramente casualizado com seis repetições, os tratamentos foram compostos pelas sementes dos híbridos coletadas na fase “a” e por sementes das plantas parentais (doadora e receptora). Utilizaram-se como unidade experimental vasos com capacidade volumétrica de 1,3 L, preenchidos com solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico (SANTOS et al., 2018), e uma camada superficial de 5 cm de substrato comercial. A densidade de semeadura utilizada foi de 100 sementes aptas por vaso, com profundidade de semeadura de 1,0 cm. A irrigação foi realizada manualmente, mantendo a capacidade de campo durante o desenvolvimento.

Avaliou-se o potencial germinativo aos 14 dias após a semeadura (DAS), contando-se as plântulas germinadas normais, ou seja, que foram capazes de se estabelecer e se desenvolver quando semeadas e sem a presença de patógenos (BRASIL, 2009). Também se avaliou o índice de velocidade de emergência (IVE), com base no critério agrônomo, o qual constituiu na contagem diária das plântulas emergidas por unidade experimental até 14 dias após a semeadura (DAS). Considerou-se plântula emergida aquela que rompeu o solo. Para o cálculo IVE utilizou-se a equação sugerida por POPINIGIS (1985): $IVE = N1/D1 + N2/D2 + Nn/Dn$; onde: IVE = índice de velocidade de emergência; N1= número de plântulas emergidas no primeiro dia; Nn= número acumulado de plântulas emergidas; D1= primeiro dia de contagem; Dn= número de dias contados após a semeadura.

6.3.3 Análises estatísticas

Os resultados qualitativos foram expressos na forma de texto e figuras. Calculou-se a taxa de hibridação, utilizando-se como base da equação o número de plantas presentes em cada vaso e o número de plantas sobreviventes após a aplicação do herbicida. Os resultados obtidos para potencial de germinação foram ajustados aos modelos lineares como: linear, quadrático; e não lineares como: exponencial, sigmoidal, fatorial, a escolha do modelo se deu em virtude do que melhor se ajustou obtendo maior valor de R².

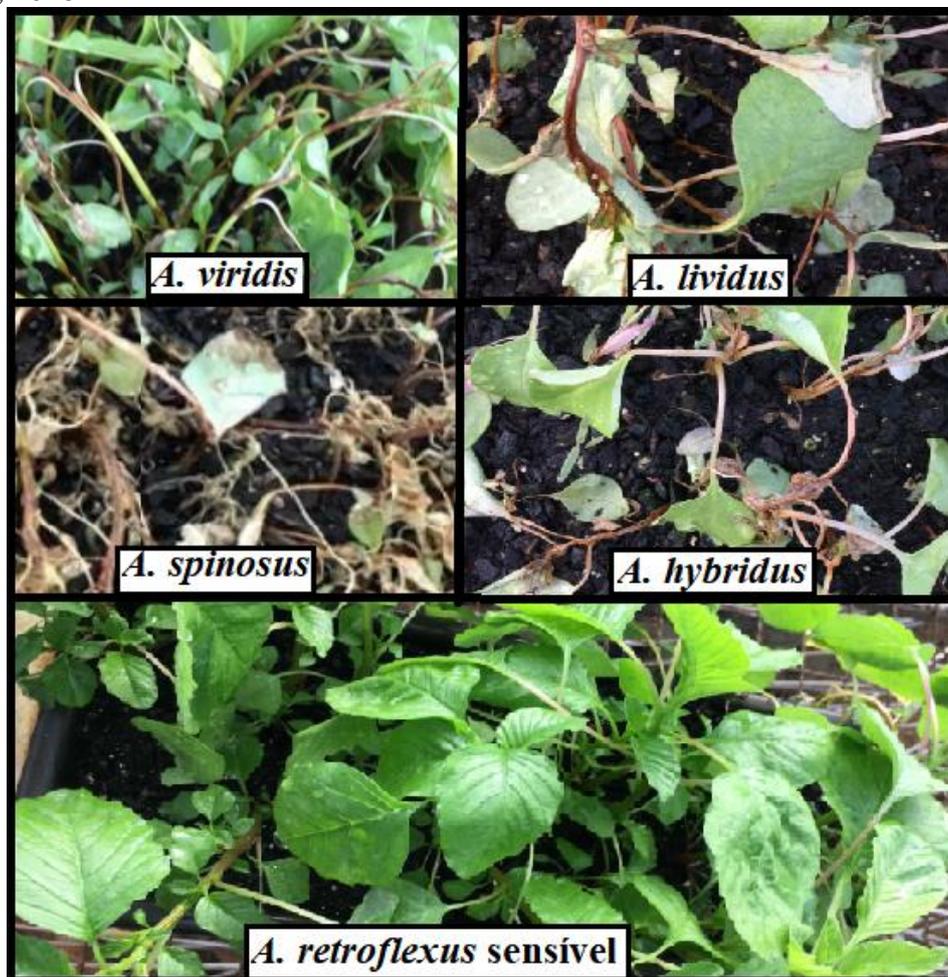
7.4 Resultados e Discussão

No teste de progênie se obteve elevada suscetibilidade das espécies de *A. viridis*, *A. lividus*, *A. spinosus* e *A. hybridus* a aplicação de imazetapir, sendo assim não se identificou resposta positiva para os cruzamentos interespecíficos. Os sintomas visuais apresentados iniciaram poucos dias após a aplicação. As plantas tratadas cessaram seu crescimento, e cinco dias após começaram a apresentar amarelecimento das folhas mais jovens e algumas manchas nas folhas velhas (Figura 2). Aos 14 DAA (dias após a aplicação) observou-se avermelhamento das nervuras e murcha dos tecidos jovens evoluindo aos 21DAA para necrose. *A. spinosus* apresentou a maior suscetibilidade, em relação ao *A. viridis*. *A. lividus* e *A. hybridus*, sendo que o percentual de controle visual aos 21 DAA foi de 95% e 85% para as demais espécies supracitadas. Estes sintomas visuais são compatíveis com os descritos por Zhou et al. (2007), os, autores descrevem que o herbicida causa a paralização na síntese dos aminoácidos, o que leva a uma interrupção na divisão celular e paralização do crescimento das plantas, seguido por manchas cloróticas, avermelhamento das nervuras e encarquilhamento com posterior necrose e morte. Também pode-se observar o bronzeamento das folhas, seguida por necrose total das folhas e das gemas apicais, brotações laterais e do nó que liga o pecíolo foliar a haste, causando a basicão das folhas (ROMAN et al., 2007; ZHOU et al., 2007).

Somente o *A. retroflexus* não apresentou efetivo controle no teste de progênie, após ser exposto a uma dose de herbicida que normalmente seria letal, várias plantas sobreviveram, então pode-se inferir que para esta espécie ocorreu a formação de híbridos com característica de resistência ao herbicida. Para esta espécie observou-se dois tipos de comportamento: um grupo apresentou sintomatologia idêntica ao descrito para as espécies anteriores, ou seja, paralisação de crescimento, lesões, necrose e morte. Entretanto o segundo grupo de plantas não apresentaram sintomas, conforme pode ser observado na Figura 1. As plantas assintomáticas continuaram se desenvolvendo normalmente, realizaram a expansão de folhas, desenvolvimento de estruturas

reprodutivas e posteriormente produziram sementes fechando assim seu ciclo produtivo normalmente. Baseando-se nestas observações e testagens pode-se dizer que ocorreu o cruzamento entre o *A. retroflexus* biótipo suscetível e o biótipo resistente ao herbicida imazetapir, visto que sua progênie apresenta alguns indivíduos resistentes. Corroborando com este resultado Corbett e Tardif (2008) apontam em seu estudo que quando a planta apresenta resistência, o controle das que são submetidas aos herbicidas inibidores de ALS pode não ter eficiência alguma.

Figura 2 - Seleção para a descendência híbrida de cruzamentos, plantas submetidas a aplicação de imazetapir na dose de 106 gr de i.a ha⁻¹, 21 dias após a aplicação. Passo Fundo, 2018



Acredita-se que a resistência observada ocorre em virtude da mutação do gene responsável pela codificação desta enzima. A mutação é definida como qualquer alteração

ou erro ocorrido na replicação do ácido desoxirribonucleico na sequência de nucleotídeos básicos, bem como na estrutura e número de cromossomos (CAETANO; CORTEZ, 2014). Na maioria dos casos a mutação ocorre pela substituição de aminoácidos na ALS. Autores relataram que existem oito substituições na enzima ALS que são responsáveis por causar resistência em plantas, Ala122, Pro197, Ala205, Asp376, Arg377, Trp574, Ser653 e Gly654 (YU; POWLES, 2014; TRANEL et al., 2020). Em *Amaranthus* algumas dessas substituições que causam mutações ocorreram, entre elas Ala-205-Val, Trp-574-Leu, Ser-653-Thr, e estas mutações causam diferentes níveis de resistência (CHEN et al., 2015; MOLIN et al., 2016, SINGH et al., 2019).

Calculou-se a taxa de hibridização para todas as espécies testadas, encontrou-se 0% para as espécies *A. viridis*, *A. lividus*, *A. hybridus*, e *A. spinosus* e 18,33% para *A. retroflexus* (Tabela 1). Das seis plantas de *A. retroflexus* polinizadas em cinco obteve-se hibridação. Isso também foi descrito por Liu et al. (2012), quemostam em seu estudo que a taxa de transferência de genes de resistência ALS no *Amaranthus* é elevada, também comprovam que o polinizador é responsável pela caracterização genética da planta. Em seus estudos quando se utilizou plantas masculinas resistentes para fecundar plantas femininas suscetíveis se obteve porcentagem geral de progênies resistentes de 63%, já quando se fez o contrário, encontrou-se uma progênie resistente de 38%.

Tabela 1- Taxa de hibridização entre *Amaranthus retroflexus* biótipo resistente ao herbicida imazetapir (Doador) e cinco espécies de *Amaranthus*. Passo Fundo – 2018

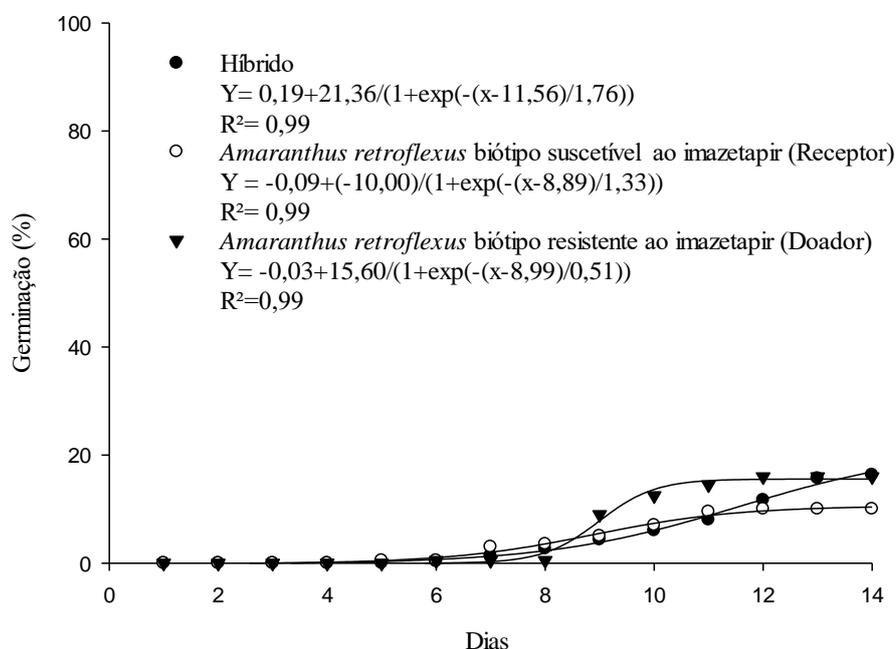
Espécies	Taxa de Hibridação (%)					
	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5	Planta 6
<i>A. viridis</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>A. lividus</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>A. spinosus</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>A. hibrydus</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>A. retroflexus</i> suscetível	22,50	20	27,5	22,2	17,5	0,00

O percentual de hibridação encontrado neste estudo foi inferior ao descrito por Liu et al (2012), entretanto independente do percentual de híbridos formados o estudo aponta a sua formação, isso já é suficiente para causar preocupação, isso porque os

híbridos formados são viáveis e com genes de resistência a herbicidas. Os genes de resistência são herdáveis, pois, a resistência pode ser transferida pela planta polinizadora (LIU et al., 2012; PARKER et al., 2015). Então o benefício de transportar o gene de resistência garante a sobrevivência e multiplicação desta planta dentro de ecossistemas agrícolas. Pois se uma planta resistente conseguir se multiplicar ela deixará descendentes resistentes, que germinaram e se perpetuaram nos diferentes espaços.

Também se testou a velocidade de germinação do híbrido formado com relação aos seus parentais (receptor e doador), e encontrou-se variação entre eles (Figura 3). Os três iniciaram a germinação aos 7 DAS, aos 10 DAS observou-se uma variação do comportamento entre os biótipos, o biótipo de *A. retroflexus* resistente elevou seu índice de germinação para 16% mantendo-se até o 14 DAS. Entretanto, o biótipo suscetível apresentou menor velocidade de germinação, sendo que só atingiu 10% aos 14 DAS.

Figura 3 – Germinação de sementes de plantas híbridas e seus parentais *Amaranthus retroflexus* biótipo suscetível (Receptor); e *Amaranthus retroflexus* biótipo resistente (Doador). Passo Fundo – 2018



O híbrido apresentou comportamento intermediário entre os seus parentais, iniciou a germinação aos 7 DAS e elevou-se lentamente ao longo do tempo, atingindo o

percentual de 16% aos 14 DAS. Este comportamento valida a afirmação de Liu et al. (2012) que diz ser o polinizador o responsável pela caracterização genética da planta.

Ocorreu variação significativa no IVE para o híbrido formado e seus parentais (receptor e doador) (Tabela 2). Sendo que o biótipo resistente se apresentou superior estatisticamente ao híbrido, e este não apresentou variação em relação ao biótipo suscetível.

Tabela 2- Índices de velocidade de emergência (IVE) de plântulas híbridas e seus parentais *Amaranthus retroflexus* biótipo suscetível (Receptor) e *Amaranthus retroflexus* biótipo resistente (Doador). Passo Fundo - 2018

Espécies	Índice de velocidade de emergência
<i>A. retroflexus</i> biótipo Resistente	7,36 a ¹
<i>A. retroflexus</i> biótipo Suscetível	5,16 ab
<i>A. retroflexus</i> biótipo Híbrido	3,00 b
Coeficiente de Variação (%)	30,26

¹ médias seguidas de letras distintas, comparadas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ² não significativo.

7.5 Conclusões

Não se obteve hibridação interespecífica entre as cinco espécies testadas. Entretanto se constatou hibridação intraespecífica entre os biótipos de *A. retroflexus*, então a hipótese levantada por este estudo não é verdadeira.

8 CONCLUSÃO GERAL

O ciclo fenológico obtido para cada espécie é variável sendo, 81 dias para o *A. lividus*; 84 dias para o *A. viridis* e 90 dias para *A. hybridus*, *A. spinosus* e os dois biótipos de *A. retroflexus*. É possível realizar a identificação das espécies pelos caracteres morfológicos. O *A. retroflexus* biótipo suscetível ao imazetapir possui maior habilidade competitiva em relação aos demais, pois apresenta maior massa seca total e elevado desenvolvimento do sistema radicial, estas características dão a ele elevada habilidade competitiva. O biótipo de *A. retroflexus* oriundo de Lucas do Rio Verde-MT é resistente ao herbicida imazetapir. A resistência é transferida por cruzamento intraespecífico

REFERÊNCIA

AGUIAR, C. Manual de botânica: estrutura e reprodução. Portugal: Instituto Politécnico de Bragança (IPB), v. 1, 2018.

ALVES, V.M.C.; PARENTONI, S.N.; VASCONCELLOS, C.A.; PITTA, G.V.E. & FRANÇA, C.C.M. Cinética de absorção de fósforo e crescimento do sistema radicular de genótipos de milho contrastantes para a eficiência a fósforo. *R. Bras. Milho Sorgo*, 1:85-92, 2002.

ANDRADE, JR. E. R.; CAVENAGHI, A. L.; GUIMARÃES, S. C.; CARVALHO, S. J. de. **Primeiro relato de *Amaranthus palmeri* no Brasil em áreas agrícolas no estado de Mato Grosso**. INSTITUTO MATO GRASSENSE DO ALGODÃO, n. 19, 2015.

ARAUS J. L.; SLAFER G.A.; ROYO, C.; SERRET, M. D. Breeding for yield potential and stress adaptation in cereals. **Critical Review in Plant Science**, n. 27, p. 377-412, 2008.

ARNOLD, M. L. Natural hybridization and the evolution of domesticated pest and disease organisms. **Molecular Ecology**, v. 13, p. 997-1007, 2004.

AZEVEDO, F.; JOSENDE, M. V. F.;SCHNORR, D. M. Biogeografia da família Amaranthaceae no Rio Grande do Sul. **Botânica**, v. 59, p. 171-190, 2008.

BATLLA, D.; BENECH-ARNOLD, R. L. A framework for the interpretation of temperature effects on dormancy and germination in seed populations showing dormancy. **Seed Science Research**, v. 25, n. 2, p. 147–158, 2015.

BECKIE, H. J.; WARWICK, S. I.; SAUDER, C. A. Acetolactate synthase (ALS) inhibitor-resistant wild buckwheat (*Polygonum convolvulus*) in alberta. **Weed Technology**, v.26, n. 1, p. 156-160, 2012.

BELTER, P. R.; CAHILL, J. F. JR. Disentangling root system responses to neighbours: identification of novel rootbehavioural strategies. *AoB Plants*. v. 7, p. 5-12, 2015.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas** - Noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.

BEWLEY, J. D. Seed Germination and Dormancy. **The Plant Cell**. v. 9, p.1055-1066, 1997.

BHOWMIK, P. C. Situação atual das ervas daninhas resistentes a herbicidas em todo o globo. **Journal of Crop and Weed**, n. 6, p. 33-43, 2010.

BIANCO, S.; PITELLI, R.A.; PAVANI, M.C.M.D.; SILVA, R.C. Estimativa da área foliar de plantas daninhas. XIII – *Amaranthus retroflexus* L. **Ecossistema**, v. 20, n. 1, p. 5-9, 1995.

BONASORA, M. G.; POGGIO, L.; GREIZERSTEIN, E. J. Cytogenetic studies in four cultivated *Amaranthus* (Amaranthaceae) species. **Comparative Cytogenetics**, v. 7, n. 1, p. 53–61, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura/Departamento Nacional de Produção Vegetal. *Regras para Análise de Sementes*. Brasília, 2009. 399 p.

CAETANO, A. P de S.; CORTEZ, P. A. **Reprodução assexuada**. In: RECH, A. R.; AGOSTINI, K.; OLIVEIRA, P. E.; MACHADO, I.C. (Org). *Biologia da Polinização*. 1. Ed, 2014, 527 p.

CAMPBELL, L. G.; TEITEL, Z.; MIRITI, M. N. Contemporary evolution and the dynamics of invasion in crop-wild hybrids with heritable variation for two weedy life histories. **Evolutionary Applications**, v. 9, n. 5, p. 697–708, 2016.

CARVALHO, L. B. de (Org.). **Herbicidas**. Lages: Editado pelo autor, 2013, 62 p.

CARVALHO, S. J. P de; CHRISTOFFOLETI, P. J. Influência da luz e da temperatura na germinação de cinco espécies de plantas daninhas do gênero *Amaranthus*. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 527-533, 2007.

CARVALHO, S. J. P. Características biológicas de plantas daninhas do gênero *Amaranthus*. In: IN- OUE, M.H.; OLIVEIRJA JÚNIOR, R.S.; MENDES, K.F.; CONSTANTIN, J. **Manejo de *Amaranthus***. São Carlos: RiMa Editora, 2015. p. 21-36.

CARVALHO, S.J.P.; LOPES-OVEJERO, R. F.; CRISTOFFOLETI, P. J. Crescimento e desenvolvimento de cinco espécies do gênero *Amaranthus*. **Bragantia**, v.67, n. 2, p. 317-326, 2008.

CHAUHAN, B. S.; D. E. JOHNSON. Germination ecology of spiny (*Amaranthus spinosus*) and slender amaranth (*A. viridis*): Troublesome weeds of direct-seeded rice. **Weed Science**, v. 57, p. 379–385, 2009.

CHEN, J.; HUANG, Z.; ZHANG, C.; HUANG, H.; WEI, S.; CHEN, J.; WANG, X. Molecular basis of resistance to imazethapyr in redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) populations from China. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 124, p. 43-47, 2015.

CORBETT, C. A. L.; TARDIF, F. J. Detection of resistance to acetohydroxyacid synthase

inhibitors in *Amaranthus* sp. using DNA polymorphisms. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 92, n. 1, p. 48–55, 2008.

COSTA, W. A. J. M. D.; SANGAKKARA, U. R. AGRONOMIC REGENERATION OF SOIL FERTILITY IN TROPICAL Asian smallholder uplands for sustainable food production. **Journal of Agricultural Science**, v.144, p.111-133, 2006.

CUTLER, D. F.; BOTHA, T.; STEVENSON, D. W. **Anatomia Vegetal: uma abordagem aplicada**. Porto Alegre: Artmed, 2011. 292 p.

DÉLYE, C.; DUHOUX, A.; PERNIN, F.; RIGGINS, W.; TRANEL, P. J. Molecular mechanisms of herbicide resistance. **Weed Science**, v. 63, p. 91-115, 2015.

DÉLYE, C.; MENCHARI, Y.; MICHEL, M.; CADET, E.; LE CORRE, V. A new insight into arable weed adaptive evolution: mutations endowing herbicide resistance also affect germination dynamics and seedling emergence. **Annals of Botany**, v. 111, p. 681-691, 2013.

DHELLOT, R.; MATOUBA, E.; MALOUMBI, M. G.; NZIKOU, J. M.; NGOMA, D. G. S.; LINDER, M.; DESOBRY, S.; PARMENTIER, M. Extraction chemical composition and nutritional characterization of vegetable oils : Case of *Amaranthus hybridus* (var 1 and 2) of Congo Brazzaville. **African Journal Biotechnology**, v. 5, n. 11, p. 1095-1101, 2006.

DIAS, ACR; MENDES, KF; Inoue, MH Resistência de Espécies de plantas daninhas fazer Gênero *Amaranthus* no Mundo e no Brasil. Em: INOUE, MH et al. **Manejo de Amaranthus**. São Carlos: RiMa, 2015. p. 105-118.

DONOHUE, K.; HESCHEL, M. S.; BUTLER, C. M.; BARUA, D.; SHARROCK, R. A.; WHITELAM, G. C.; CHIANG, G. C. K. Diversification of phytochrome contributions to germination as a function of seed-maturation environment. **New Phytologist**, v. 177, p. 367–379, 2008.

DUGGLEBY, R. G.; PANG, S. S. Acetohydroxyacid synthase. **Biochemistry & Molecular Biology Journal**, v. 33, p. 1-36, 2000.

EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **RAVEN Biologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 8. ed. 2018.

FANG S, CLARK RT, ZHENG Y, IYER-PASCUZZI AS, WEITZ JS, KOCHIAN LV. Genotypic recognition and spatial responses by rice roots. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. v. 110, p. 2670- 2683, 2013.

FLECK N. G.; BALBINOT JR. A. A.; AGOSTINETTO D.; RIZZARDI M. A. Velocidade de estabelecimento em cultivares de arroz irrigado como característica para aumentar a habilidade competitiva com plantas concorrentes. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 635-640, 2003.

FRANCISCHINI, A. C.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR. R. S de; SANTOS, G.; TAKANO, H. K.; FRANCHINI, L. H.; BRAZ, G. B. P. Curvas de dose-resposta e eficácia de herbicidas inibidores da enzima ALS aplicados em pré-emergência sobre espécies de *Amaranthus*. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.12, n.1, p.68-77, 2013.

FRANCISCHINI, A. C.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R. S.; SANTOS, G.; BRAZ, G. B. P.; DAN, H. A. First report of *Amaranthus viridis* resistance to herbicides. **Planta Daninha**, v. 32, n. 3, p. 571-578, 2014a.

FRANCISCHINI, A. C.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R. S.; SANTOS, G.; FRANCHINI, L. H. M.; BIFFE, D. F. Resistance of *Amaranthus retroflexus* to acetolactate synthase inhibitor herbicides in Brazil. **Planta Daninha**, v. 32, n. 2, p. 437-446, 2014b.

FRANSSEN, A. S.; SKINNER, D. Z.; AL-KHATIB, K.; HORAK, M. J. Pollen morphological differences in *Amaranthus* species and interspecific hybrids. **Weed Science**, v. 49, n. 6, p. 732–737, 2001.

FREITAS, M. A Cultura da Soja no Brasil: O crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia biosfera**, v. 7, p. 1-12; 2011.

GAINES, T. A.; WARD, S. M.; BUKUN, B.; PRESTON, C.; LEACH, J. E.; WESTRA, P. Interspecific hybridization transfers a previously unknown glyphosate resistance mechanism in *Amaranthus* species. **Evolutionary Applications**, v. 5, n. 1, p. 29-38, 2011.

GEWIN, V. An underground revolution. **Nature**, v. 466, p. 552-553, 2010.

GHANIZADEH, H & HARRINGTON, K. C. Non-target Site Mechanisms of Resistance to Herbicides. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 36, n. 1, p. 24-34, 2017.

GIVNISH, T. J. Ecological constraints on the evolution of plasticity in plants. **Evolutionary Ecology**, v. 16, p. 213–242, 2002.

GUERRA, M.; SOUZA, M. J. de. **Como observar cromossomos - um guia de técnicas em citogenética vegetal, animal e humana**. Ribeirão Preto: Funpec, 2002. 131p.

GUNDEL, P. E.; MARTÍNEZ-GHERSA M.A.; GHERSA, C.M. Dormancy, germination and ageing of *Lolium multiflorum* seeds following contrasting herbicide selection regimes. **Europ. J. Agronomy**, v. 28, p. 606–613, 2008.

HALL, L. M., STROME, K. M., HORSMAN, G. P. Resistance to acetolactate synthase inhibitors and quinclorac in a biotype of false clover (*Gallium spurium*). **Weed Science**, v. 46, n. 4, p. 390-396, 1998.

HEAP, I. **The International Survey of Herbicide Resistant Weeds**. Online. Disponível em: < www.weedscience.com >. Acesso em: 03 de janeiro de 2020.

HUANG, A. Z.; CHEN, A. J.; ZHANG, A. C.; HUANG, A. H.; WEI, A. S.; ZHOU, B. X.; CHEN, A. J.; WANG, X. Target-site basis for resistance to imazethapyr in redroot amaranth (*Amaranthus retroflexus* L.). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 128, p. 10-15, 2016.

HÜGIN, G. Einige Bemerkungen zu wenig bekannten *Amaranthus*-sippen (Amaranthaceae) Mitteleuropas. **Willdenowia**, v. 16, p. 453–478, 1987.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 14 de janeiro 2020.

JASIENIUK, M.; BRULE-BABEL, A. L.; MORRISON, I. N. The evolution and genetics of herbicide resistance in weeds. **Weed Science**, n. 44, p. 176-193, 1996.

KENDRICK, R. E.; KĘPCZYŃSKA, E.; BIHUN, M. **The involvement of ethylene in the release of primary dormancy**. In *A. retroflexus* seeds. *Plant Growth Regulation*, v. 38, p. 57–62, 2003.

KISSMANN, K. G. e GROTH, D. **Plantas infestantes e nocivas**. 2 ed., São Paulo, SP: BASF, v. 2, 1999, 978p.

KRONN, N. de.; VISSER, E. J. W. **Root Ecology**. Springer, 2003.

LIU, F.; STÜTZEL, H. Biomass partitioning, specific leaf area, and water use efficiency of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp) in response to drought stress. **Scientia Horticulturae**, v. 102, p. 15-27, 2004.

LIU, F.; STÜTZEL, H. Leaf expansion, stomatal conductance, and transpiration of vegetable amaranth (*Amaranthus* sp.) in response to soil drying. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v 127, p. 878-883, 2002b.

LIU, F.; STÜTZEL, H. Leaf water relations of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp) in response to soil drying. **European Journal of Agronomy**, v. 16, p. 137-150, 2002a.

LIU, J.; DAVIS, A. S.; LIU, J.; DAVIS, A. S. Pollen Biology and Dispersal Dynamics in Waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*). **Weed Science**, v. 60, n. 3, p. 416–422, 2012.

LLOYD, D.; VINAY, S. Elucidating modes of activation and herbicide resistance by sequence assembly and molecular modelling of the Acetolactate synthase complex in sugarcane. **Journal of Theoretical Biology**, v. 407, p. 184–197, 2016.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil**. 4. ed. São Paulo: Instituto Plantarum, 2008. 672 p.

MARCHIORETTO, M. S. Chaves de identificação dos gêneros e espécies de Amaranthaceae no Rio Grande do Sul. **Botânica**, v. 65, p. 123–128, 2014.

MARCHIORETTO, M. S.; MIOTTO, S. T. S.;SIQUEIRA, J. C. de. O gênero *Pfaffia* Mart. (Amaranthaceae) no Brasil. **Hoehnea**, v. 37, n. 3, p. 461-511, 2010.

MARIANI, F.; VARGAS, V.; AGOSTINETTO, D.; NOHATTO, M. A.; LANGARO, A. C.; DUARTE, T. V. Valor adaptativo e habilidade competitiva de azevém resistente e suscetível ao iodosulfuron em competição com o trigo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 51, n. 6, p. 710-719, 2016.

MARTINS, T. Herbicide Paraquat: concepts, mode of action and related diseases. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 175-186, 2013.

MEPBA, H. D.; EBOH, L.; S. U. NWAJOJIGWA. Chemical composition, functional and baking properties of wheat-plantain composite flours. **African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development**, v. 7, n. 1, p. 1-23, 2007.

MOLIN, W. T.; NANDULA, V. K.; WRIGHT, A. A.; BOND, J. A. Transfer and Expression of ALS Inhibitor Resistance from Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) to an *A. spinosus* 6 *A. palmeri*. **Hybrid**, v. 64, p. 240-247, 2016.

MONDO, V. H. V.; CARVALHO, S. J. P. de; DIAS, A. C. R.; MARCOS FILHO, J. Efeitos da luz e temperatura na germinação de sementes de quatro espécies de plantas daninhas do gênero Digitaria. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 1, p.131-137, 2010.

MOREIRA, H. J. da C.; BRAGANÇA, H. B. N. **Manual de identificação de plantas infestantes: cultivo de verão**. FMC, 2010. 642 p.

MOREIRA, M. S.; MELO, M. S. C. de; DE CARVALHO, S. J. P. de; CHRISTOFFOLETI, P. J. Crescimento diferencial de biótipos de *Conyza* SPP Resistente e suscetível ao herbicida glifosato. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 591-598, 2010.

MULLIGAN, G. A. Chromosome numbers of some plants native and naturalized in Canada. **Naturaliste Canada**. v. 111, p. 447-449. 1984.

NANDULA, V. K.; WRIGHT, A. A.; BOND, J. A.; RAY, J. D.; EUBANK, T. W.; MOLIN, W. T. EPSPS amplification in glyphosate-resistant spiny amaranth (*Amaranthus spinosus*): a case of gene transfer via interspecific hybridization from glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*). **Pest Management Science**, v. 70, p. 1902-1909, 2014.

NEVILL, D.; CORNES, D.; HOWARD, S. Weed resistance: The Role of HRAC in the Management of Weed Resistance. *Pesticide Outlook*, 1998. Disponível em:

<<http://www.hracglobal.com/Publications/HRACManagementandWeedResistance.aspx>
>. Acesso em: 18 de fev de 2020.

NONOGAKI, M.; SALL, K.; NAMBARA, E.; NONOGAKI, H. Amplification of ABA biosynthesis and signaling through a positive feedback mechanism in seeds. **Plant J.** 78:527–539, 2014.

PÁEZ-GARCIA, A.; MOTES, C.; SCHEIBLE, W. R.; CHEN, R. BLANCAFLOR, E.; MONTEROS M. Root traits and phenotyping strategies for plant improvement. **Plants.** v. 4, p. 334-355, 2015.

PAL, M.; KHOSHOO, T. N. Evolution and improvement of cultivated amaranths. IV. Variation in pollen mitosis in the F1 *Amaranthus spinosus* X *A. dubius*. **Genetica**, v. 43, p. 119-129, 1972.

PARKER, T. C. T.; TRUCCO, F.; TRANEL, P. A.; RAYBURN, A. L. Micropollen formation in f 1 hybrids and backcrosses of waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) x Smooth Pigweed (*A. hybridus*) as a quick method for determination of interspecific hybridization events. **Journal of Agricultural Science**, v. 7, n. 8, p. 1-7, 2015.

PITELLI R. A. O termo planta-daninha. **Planta Daninha.**v. 33, p. 1-2, 2015.

POWLES, S. B.; YU, Q. Evolution in action : plants resistant to herbicides. **Plant Biology**, v. 61, p. 317–47, 2010.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: AGIPLAN, 1985. 289 p.

RADOSEVICH, S. R. Methods to study interactions among crops and weeds. **Weed Technology**, v. 1, n. 3, p. 190-198, 1987.

RAIMONDI, M. A.; OLIVEIRA JR. R. S. DE; JAMIL CONSTANTIN, J.; FRANCHINI, L. H. M.; BLAINSKI, E.; RAIMONDI, R. T. Weed interference in cotton plants grown with reduced spacing in the second harvest season. **Caatinga**, v. 30, n. 1, p. 1-12, 2017.

REYNOLDS, M. P.; BORLAUG N. E.; Impacts of breeding on international collaborative wheat improvement. **Journal Agriculture Science**, v. 144, n. 3, 2006.

SANES, F. S. M.; CASTILHOS; R. M. V.; SCIVITTARO, W. B.; VAHL, L. C.; JÚLIA MORAIS, J. R. de. Morfologia de raízes e cinética de absorção de potássio em genótipos de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 688-697 2013.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.**

Brasília-DF: Embrapa Produção de Informação, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 5 ed., 2018, 356p.

SEEFELDT, S. S.; JENSEN, J. E.; FUERTS, E. P. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. **Weed Technology**, v. 9, n. 2, p. 218-227, 1995.

SELLERS, B. A.; SMEDA, R. J.; JOHNSON, W. G.; KENDIG, J. A.; ELLERSIECK, R. E. M. Comparative growth of six *Amaranthus* species in Missouri. **Weed Science**, v. 51, n. 3, p. 329-333, 2003.

SHARMA, A. K.; BANIK, M. Cytological investigation of different genera of *Amaranthaceae* with a view to trace their interrelationships. **Bulletin of the Botanical Society of Bengal**. v. 19, p. 40-50, 1965.

SHERGILL, A. L. S.; BISHA, M. D.; JUGULAMB, M.; BRADLEY, K. W. Molecular and Physiological Characterization of Six-way Resistance in an *Amaranthus tuberculatus* var. *rudis* biotype from Missouri. **Pest Management Science**, v. 74, p. 216- 238, 2018.

SHIVRAIN, V.K.; BURGOS, N.R.; AGRAMA, H.A.; LAWTON-RAUH, A.; LU, B.; SALES, M.A. Genetic diversity of weedy red rice (*Oryza sativa*) in Arkansas, USA. **Weed Research**, v. 50, n. 4, p. 289-302, 2010.

SHU, K.; LIU, X.-d.; XIE, Q.; HE, Z.-h. Two Faces of One Seed: Hormonal Regulation of Dormancy and Germination. **Molecular Plant**. v. 9, p. 34-45, 2016.

SINGH, S.; SINGH, A. V.; SALAS-PEREZ, B. R. A.; MUTHUKUMAR, A. V.; BAGAVATHIANNAN, B.; LAWTON-RAUHC A. B. A.; NILDA ROMA-BURGOSA N. D. Target-site mutation accumulation among ALS inhibitor-resistant Palmer amaranth. **Pest Management Science**, v. 74, n. 4, 2018.

SOOMARIN, S. J., ALIPOOR, S.; MAHMOODABAD, R. Z. Evaluation of sulfuric acid application in breaking dormancy of goosefoot and red-root amaranth seeds. **Plant Ecophysiology**, v. 2, p. 127–131, 2010.

STECKEL, L.; SPRAGUE, C.; STOLLER, E.; WAX, L. Temperature effects on germination of nine *Amaranthus* species. **Weed Science**, v. 52, p. 217-221, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed.: Arned, 2013, 721 p.

TEITEL, Z.; KLIMOWSKI, A.; CAMPBELL, L. G. Assessing the effects of hybridization and precipitation on invasive weed demography using strength of selection on vital rates. **BMC Evolutionary Biology**, v. 16, n. 266, p. 3-13, 2016.

TOYOMASU, T.; KAWAIDE, H.; MITSUHASHI, W.; INOUE, Y. KAMIYA, Y. Phytochrome regulates gibberellin biosynthesis during germinations of photoblastic lettuce seeds. *Plant Physiology*, v. 118, n. 4, p. 1517-1523, 1998.

TRADER, B. W.; WILSON, H. P.; HAGOOD, E. S.; HINES, T. E. Halosulfuron Resistance in Smooth Pigweed (*Amaranthus hybridus*) Populations Weed Biology and Competition Halosulfuron Resistance in Smooth Pigweed (*Amaranthus hybridus*) Populations. **Weed Technology**, v. 23, n. 3, p. 460–464, 2009.

TRANEL, P. J.; WRIGHT, T. R.; HEAP IM. Mutations in herbicide-resistant weeds to ALS inhibitors. Disponível em: <<http://weedsociety.org/Mutations/MutationDisplayAll.aspx>>. Acesso em 01 de jan 2020.

TRUCCO, F.; HAGER, A. G.; TRANEL, P. J. Acetolactate synthase mutation conferring imidazolinone-specific herbicide resistance in *Amaranthus hybridus*. **Journal of Plant Physiology**, v. 163, 475-479, 2006.

TRUCCO, F.; TATUM, T.; RAYBURN, A. L.; TRANEL, P. J. Fertility, segregation at a herbicide-resistance locus, and genome structure in BC1 hybrids from two important weedy *Amaranthus* species. **Molecular Ecology** v.14, p. 2717-2728, 2005.

VAZIN, F. The effects of pigweed redroot (*Amaranthus retroflexus*) weed competition and its economic thresholds in corn (*Zea mays*). **Planta Daninha**, v. 30, n. 3, p. 477-485, 2012.

VEASEY, E. A.; PIOTTO, F. A.; NASCIMENTO, W. F do; RODRIGUES, J. F.; MEZETTE, T. F.; BORGES, A.; BIGUZZI, F. A.; SANTOS, F. R. C. dos; SOBIERAJSK, G da R.; RECCHIA, G. H.; MISTRO, J. C. Processos evolutivos e a origem das plantas cultivadas. **Ciência Rural**, v. 41, n. 7, p. 1218-1228, 2011.

VESTY, E. F.; SAIDI, Y.; MOODY, L. A.; HOLLOWAY, D.; WHITBREAD, A.; NEEDS, S.; CHOUDHARY, A.; BURNS, B.; MCLEOD, D.; BRADSHAW, S. J.; BAE, H.; KING, B. C.; BASSEL, G. W.; SIMONSEN, H. T.; COATES, J. C. The decision to germinate is regulated by divergent molecular networks in spores and seeds. **New Phytologist**, v. 211, p. 952–966, 2016.

VIVIAN, R.; SILVA, A. A.; GIMENES, Jr. M.; FAGAN, E. B.; RUIZ, S.T.; LABONIA, V. Dormência em sementes de plantas daninhas como mecanismo de sobrevivência- Breve Revisão. **Planta Daninha**, v. 26, n. 3, p. 695-706, 2008.

VLEESHOUWERS, L. M., BOUWMEESTER, H. J. and KARSSSEN, C. M. Redefining seed dormancy: an attempt to integrate physiology and ecology. **Journal of Ecology**, v. 83, p. 1031–1037, 1995.

VRANCKX, G.; VANDELOOK, F. A season- and gap-detection mechanism regulates seed germination of two temperate forest pioneers. **Plant Biology**. Vol. 14, Issue 3, 2012.

WARD, S. M. Genetic analysis of invasive plant populations at different spatial scales. **Biol. Invasions**, v. 8, p. 541-552, 2006.

WARD, S. M.; GASKIN, J. F.; WILSON, L. M. Ecological Genetics of Plant Invasion: What Do We Know? **Invasive Plant Science and Management**, v. 1, p. 98-109, 2008.

WASSON, A. P.; RICHARDS, R. A.; CHATRATH, R.; MISRA, S. C.; PRASAD, S. V. S.; REBETZKE, G. J.; KIRKEGAARD, J. A.; CHRISTOPHER, J.; WATT, M. Traits and selection strategies to improve root systems and water uptake in water-limited wheat crops. *Journal of Experimental Botany*, v. 63, n. 9, p. 3485-3498, 2012.

YU, Q.; POWLES, S. Metabolism-Based Herbicide Resistance and Cross-Resistance in Crop Weeds: A Threat to Herbicide Sustainability and Global Crop Production. **Plant Physiology**, 2014, v. 166, p. 1106-1118, 2014.

ZANINE, A. de M.; SANTOS, E. M. Competição entre espécies de plantas- uma revisão. *Revista da FZVA, Uruguaiana*, v. 11, n. 1, p. 10-30, 2004.

ZHANG, S.; LAMB, E. G. Plant competitive ability and the transitivity of competitive hierarchies change with plant age. **Plant Ecology**, v. 213, p.15-23, 2012.

ZHOU, Q.; LIU, W.; ZHANG, Y.; LIU, K. K. Action mechanisms of acetolactate synthase-inhibiting herbicides. **Pesticide Biochemistry & Physiology**, v. 89, p. 89-96, 2007.

ZONTA, E.; BRASIL, F. C.; GOI, S.; ROSA, M. M. T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M. S., ed. *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.7-52.

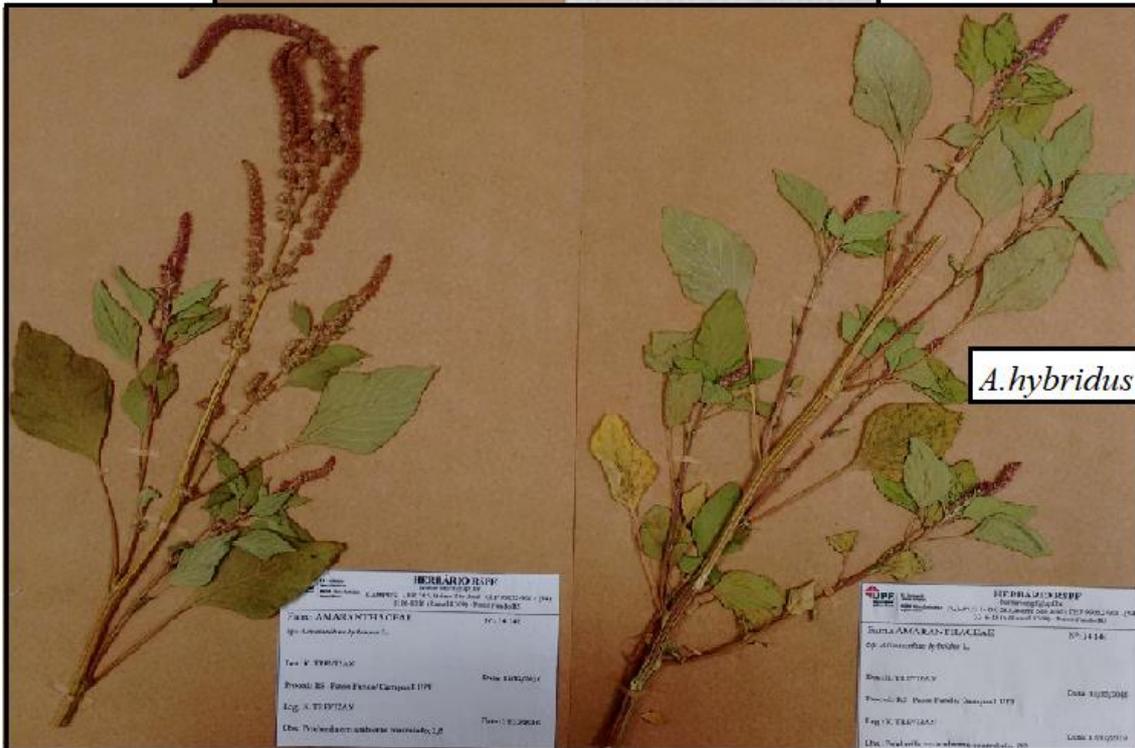
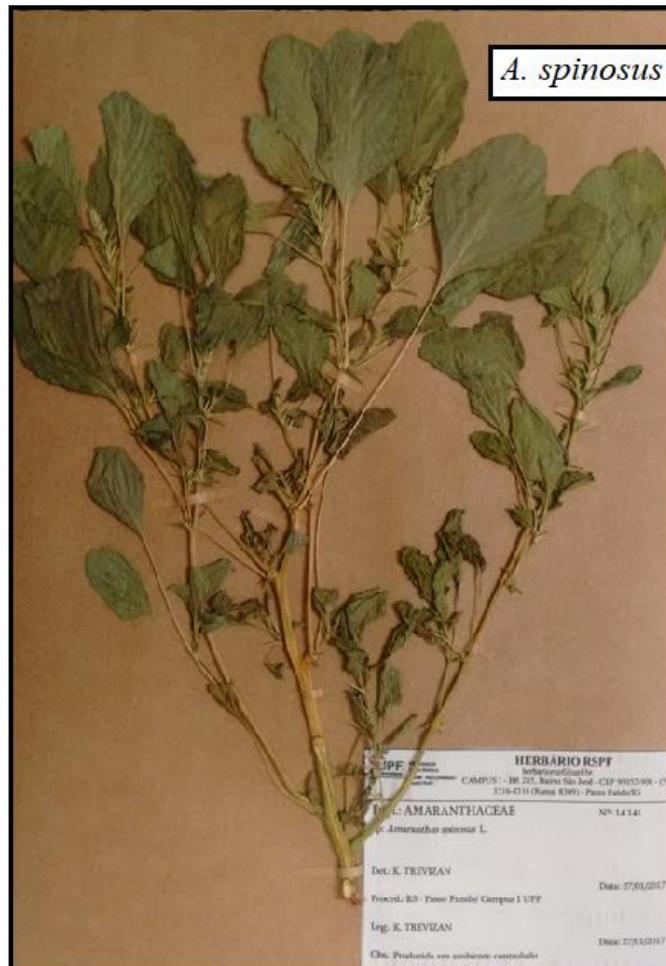
APÊNDICES

Apêndice I - Plantas herborizadas de *Amaranthus viridis*, *Amaranthus lividus*, *Amaranthus spinosus*, *Amaranthus hybridus*, *Amaranthus retroflexus* suscetível e *Amaranthus retroflexus* resistente aos herbicidas inibidores de ALS. Passo Fundo-2017

(Continua)



(Continuação)



(Conclusão)



Apêndice II - Coeficientes de correlação simples de Pearson calculados para a espécie de *Amaranthus viridis* em relação a massa seca total (MST); estatura (EST); Área foliar (AF); número de folhas primárias (NFP), número de folhas secundárias (NFS), número de folhas totais (NFT); número de ramificações primárias (NRP); número de ramificações secundárias (NRS); número de ramificações totais (NRT); comprimento da folha (CF); comprimento da haste foliar (CH); número de inflorescências primárias (NIP); número de inflorescências secundárias (NIS); número de inflorescências totais (NIT); volume da raiz (VR). Passo Fundo - 2017

MST gr	EST cm	AF cm ²	NFP -	NFS -	NFT -	NRP -	NRS -	NRT -	CF cm	CH cm	NIP -	NIS -	NIT -	VR cm ²	
MST	1	0,36	0	0,7	0,74	-0,98*	0,31	0,27	-0,6	-0,7	-0,54	0,53	0,49	0,5	
EST		1	-0,17	0,1	-1	-0,7	0,91	-0,09	-0,1	0,81	0,56	0,72	-0,38	-0,31	-0,33
AF			1	-1	0,9	0,85	-0,26	0,99**	0,99*	0,13	-0,91	0,57	-0,17	-0,11	-0,13
NFP				1	-1	-0,8	0	-0,77	-0,8	0,17	0,76	-0,48	0,63	0,6	0,61
NFS					1	1	-0,62	0,79	0,77	-0,4	-0,99**	0,06	-0,04	-0,04	-0,05
NFT						1	-0,63	0,79	0,77	-0,4	-0,99*	0,06	-0,04	-0,03	-0,04
NRP							1	-0,24	-0,2	0,49	0,6	0,57	-0,68	-0,65	-0,66
NRS								1	1	0,25	-0,87	0,63	-0,1	-0,02	-0,05
NRT									1	0,28	-0,85	0,66	-0,13	-0,05	-0,08
CF										1	0,23	0,77	0,09	0,19	0,16
CH											1	-0,18	-0,02	-0,05	-0,03
NIP												1	-0,44	-0,34	-0,37
NIS													1	0,99**	1,00**
NIT														1	1,00**
VR															1

* e **Significativo a 5% e a 1%, respectivamente, pelo teste t.

Apêndice III - Coeficientes de correlação simples de Pearson calculados para a espécie de *Amaranthus lividus* em relação a massa seca total (MST); estatura (EST); Área foliar (AF); número de folhas primárias (NFP), número de folhas secundárias (NFS), número de folhas totais (NFT); número de ramificações primárias (NRP); número de ramificações secundárias (NRS); número de ramificações totais (NRT); comprimento da folha (CF); comprimento da haste foliar (CH); número de inflorescências primárias (NIP); número de inflorescências secundárias (NIS); número de inflorescências totais (NIT); volume da raiz (VR). Passo Fundo - 2017

MST	EST	AF	NFP	NFS	NFT	NRP	NRS	NRT	CF	CH	NIP	NIS	NIT	VR	
gr	cm	cm ²	-	-	-	-	-	-	cm	cm	-	-	-	cm ²	
MST	1	0,95*	0,36	-0,17	0,73	0,74	-0,98*	0,31	0,27	-0,6	-0,7	-0,54	0,53	0,49	0,5
EST		1	-0,17	0,14	-0,64	-0,65	0,91	-0,09	-0,05	0,81	0,56	0,72	-0,38	-0,31	-0,33
AF			1	-0,84	0,85	0,85	-0,26	0,99**	0,99*	0,13	-0,91	0,57	-0,17	-0,11	-0,13
NFP				1	-0,78	-0,78	0	-0,77	-0,78	0,17	0,76	-0,48	0,63	0,6	0,61
NFS					1	1	-0,62	0,79	0,77	-0,4	-0,99**	0,06	-0,04	-0,04	-0,05
NFT						1	-0,63	0,79	0,77	-0,4	-0,99*	0,06	-0,04	-0,03	-0,04
NRP							1	-0,24	-0,2	0,49	0,6	0,57	-0,68	-0,65	-0,66
NRS								1	1	0,25	-0,87	0,63	-0,1	-0,02	-0,05
NRT									1	0,28	-0,85	0,66	-0,13	-0,05	-0,08
CF										1	0,23	0,77	0,09	0,19	0,16
CH											1	-0,18	-0,02	-0,05	-0,03
NIP												1	-0,44	-0,34	-0,37
NIS													1	0,99**	1,00**
NIT														1	1,00**
VR															1

* e **Significativo a 5% e a 1%, respectivamente, pelo teste t.

Apêndice IV - Coeficientes de correlação simples de Pearson calculados para a espécie de *Amaranthus spinosus* em relação a massa seca total (MST); estatura (EST); Área foliar (AF); número de folhas primárias (NFP), número de folhas secundárias (NFS), número de folhas totais (NFT); número de ramificações primárias (NRP); número de ramificações secundárias (NRS); número de ramificações totais (NRT); comprimento da folha (CF); comprimento da haste foliar (CH); número de inflorescências primárias (NIP); número de inflorescências secundárias (NIS); número de inflorescências totais (NIT); volume da raiz (VR). Passo Fundo - 2017

	MST gr	EST cm	AF cm ²	NFP -	NFS -	NFT -	NRP -	NRS -	NRT -	CF cm	CH cm	NIP -	NIS -	NIT -	VR cm ²
MST	1,00	0,84	0,76	-0,81	0,78	0,78	-0,36	0,83	0,82	-0,91	0,45	0,23	0,88	0,86	-0,88
EST		1,00	0,98*	-0,39	0,40	0,40	-0,07	0,42	0,42	-0,80	0,09	0,00	0,53	0,51	-0,50
AF			1,00	-0,31	0,23	0,23	-0,15	0,27	0,27	-0,80	0,24	0,10	0,47	0,46	-0,36
NFP				1,00	-0,79	-0,79	0,70	-0,91	-0,86	0,80	0,78	-0,58	-0,98*	-0,98*	0,89
NFS					1,00	1,00	-0,12	0,98*	0,99**	-0,52	-0,85	-0,03	0,75	0,72	-0,98*
NFT						1,00	-0,11	0,97*	0,99**	-0,52	-0,85	-0,04	0,75	0,72	-0,97*
NRP							1,00	-0,34	-0,23	0,64	0,32	-0,99*	-0,70	-0,74	0,30
NRS								1,00	0,99**	-0,65	-0,87	0,19	0,87	0,85	-0,99**
NRT									1,00	-0,60	-0,86	0,08	0,82	0,79	-0,99**
CF										1,00	0,27	-0,56	-0,90	-0,90	0,69
CH											1,00	-0,19	-0,66	-0,65	0,81
NIP												1,00	0,59	0,63	-0,15
NIS													1,00	1,00**	-0,88
NIT														1,00	-0,85
VR															1,00

* e **Significativo a 5% e a 1%, respectivamente, pelo teste t.

Apêndice V- Coeficientes de correlação simples de Pearson calculados para a espécie de *Amaranthus hybridus* em relação a massa seca total (MST); estatura (EST); Área foliar (AF); número de folhas primárias (NFP), número de folhas secundárias (NFS), número de folhas totais (NFT); número de ramificações primárias (NRP); número de ramificações secundárias (NRS); número de ramificações totais (NRT); comprimento da folha (CF); comprimento da haste foliar (CH); número de inflorescências primárias (NIP); número de inflorescências secundárias (NIS); número de inflorescências totais (NIT); volume da raiz (VR). Passo Fundo - 2017

	MST Gr	EST cm	AF cm ²	NFP -	NFS -	NFT -	NRP -	NRS -	NRT -	CF cm	CH cm	NIS -	NIT cm ³	VR cm ²
MST	1,00	0,27	0,23	0,38	0,58	0,58	0,41	0,88	0,86	0,70	-0,85	-0,14	-0,14	-0,41
EST		1,00	0,03	-0,75	0,04	0,03	-0,68	-0,14	-0,24	-0,48	0,03	0,74	0,74	0,06
AF			1,00	-0,16	0,92	0,92	-0,27	0,48	0,38	0,35	0,25	0,50	0,50	0,77
NFP				1,00	0,10	0,11	0,99**	0,60	0,70	0,83	-0,68	-0,93	-0,93	-0,56
NFS					1,00	1,00**	0,02	0,78	0,70	0,63	-0,15	0,28	0,28	0,46
NFT						1,00	0,03	0,78	0,70	0,64	-0,15	0,27	0,27	0,46
NRP							1,00	0,58	0,68	0,79	-0,75	-0,95	-0,95	-0,67
NRS								1,00	0,99	0,94	-0,72	-0,28	-0,28	-0,19
NRT									1,00	0,97	-0,77	-0,41	-0,41	-0,28
CF										1,00	-0,70	-0,56	-0,56	-0,26
CH											1,00	0,60	0,60	0,81
NIS												1,00	1,00**	0,72
NIT													1,00	0,72
VR														1,00

* e **Significativo a 5% e a 1%, respectivamente, pelo teste t.

Apêndice VI - Coeficientes de correlação simples de Pearson calculados para a espécie de *Amaranthus retroflexus* suscetível ao herbicida imazetapir com relação em relação a massa seca total (MST); estatura (EST); Área foliar (AF); número de folhas primárias (NFP), número de folhas secundárias (NFS), número de folhas totais (NFT); número de ramificações primárias (NRP); número de ramificações secundárias (NRS); número de ramificações totais (NRT); comprimento da folha (CF); comprimento da haste foliar (CH); número de inflorescências primárias (NIP); número de inflorescências secundárias (NIS); número de inflorescências totais (NIT); volume da raiz (VR). Passo Fundo - 2017

	MST gr	EST cm	AF cm ²	NFP -	NFS -	NFT -	NRP -	NRS -	NRT -	CF cm	CH cm	NIS -	NIT -	VR cm ³
MST	1,00	0,92	0,64	-0,79	0,46	0,45	-0,93	-0,07	-0,18	0,99**	-0,95	0,64	0,64	0,39
EST		1,00	0,30	-0,50	0,57	0,56	-0,71	0,24	0,14	0,91	-0,84	0,89	0,89	0,72
AF			1,00	-0,82	0,28	0,27	-0,85	-0,37	-0,46	0,59	-0,74	-0,12	-0,12	-0,32
NFP				1,00	0,04	0,06	0,95	0,64	0,73	-0,82	0,70	-0,06	-0,06	0,25
NFS					1,00	1,00**	-0,28	0,78	0,70	0,35	-0,67	0,61	0,61	0,68
NFT						1,00	-0,26	0,79	0,71	0,34	-0,66	0,61	0,61	0,68
NRP							1,00	0,35	0,46	-0,93	0,90	-0,31	-0,31	-0,03
NRS								1,00	0,99**	-0,16	-0,10	0,56	0,56	0,78
NRT									1,00	-0,27	0,02	0,49	0,49	0,74
CF										1,00	-0,90	0,63	0,63	0,36
CH											1,00	-0,57	-0,57	-0,39
NIS												1,00	0,95*	0,74
NIT													1,00	0,95
VR														1,00

* e **Significativo a 5% e a 1%, respectivamente, pelo teste t.

Apêndice VII- Coeficientes de correlação simples de Pearson calculados para a espécie de *Amaranthus retroflexus* resistente ao herbicida imazetapir em relação a massa seca total (MST); estatura (EST); Área foliar (AF); número de folhas primárias (NFP), número de folhas secundárias (NFS), número de folhas totais (NFT); número de ramificações primárias (NRP); número de ramificações secundárias (NRS); número de ramificações totais (NRT); comprimento da folha (CF); comprimento da haste foliar (CH); número de inflorescências primárias (NIP); número de inflorescências secundárias (NIS); número de inflorescências totais (NIT); volume da raiz (VR). Passo Fundo - 2017

	MST gr	EST cm	AF cm ²	NFP -	NFS -	NFT -	NRP -	NRS -	NRT -	CF cm	CH cm	NIS -	NIT -	VR cm ³
MST	1,00	-0,68	0,89	-0,86	-0,48	-0,56	0,90	0,78	0,78	-0,61	0,99**	0,31	0,31	-0,18
EST		1,00	-0,39	0,41	-0,32	-0,23	-0,28	-0,11	-0,35	-0,13	-0,60	-0,36	-0,36	0,29
AF			1,00	-0,99**	-0,66	-0,75	0,91	0,77	0,97*	-0,85	0,91	0,54	0,54	-0,43
NFP				1,00	0,60	0,69	-0,85	-0,68	-0,99*	0,82	-0,87	-0,63	-0,63	0,53
NFS					1,00	0,99**	-0,82	-0,88	-0,57	0,94	-0,57	0,08	0,08	-0,16
NFT						1,00	-0,87	-0,90	-0,66	0,97*	-0,65	-0,02	-0,02	-0,06
NRP							1,00	0,96*	0,78	-0,87	0,94	0,14	0,14	-0,01
NRS								1,00	0,60	-0,84	0,84	-0,13	-0,13	0,25
NRT									1,00	-0,81	0,80	0,72	0,72	-0,63
CF										1,00	-0,69	-0,26	-0,26	0,17
CH											1,00	0,27	0,27	-0,14
NIS												1,00	1,00**	-0,99*
NIT													1,00	0,99**
VR														1,00

* e **Significativo a 5% e a 1%, respectivamente, pelo teste t.