

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

NÍVEL DE DANO ECONÔMICO, CONTROLE E DIVERSIDADE GENÉTICA DE
CAPIM-ANNONI (*Eragrostis plana* Nees)

Mateus Gallon
Engenheiro Agrônomo/UFSM
Mestre em Agronomia/UTFPR

Tese apresentada como um dos requisitos
à obtenção do Grau de Doutor em Fitotecnia
Área de Concentração Sistemas de Produção Vegetal

Porto Alegre (RS), Brasil
Junho de 2019

CIP - Catalogação na Publicação

Gallon, Mateus

NÍVEL DE DANO ECONÔMICO, CONTROLE E DIVERSIDADE
GENÉTICA DE CAPIM-ANNONI (*Eragrostis plana* Nees) /

Mateus Gallon. -- 2019.

143 f.

Orientador: Aldo Merotto Junior.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS,
2019.

1. Capim-annoni. 2. Competição. 3. Glifosato. 4.
Populações. 5. Marcadores. I. Merotto Junior, Aldo,
orient. II. Título.

MATEUS GALLON
Engenheiro Agrônomo - UFSM
Mestre em Agronomia - UTFPR

TESE

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

DOUTOR EM FITOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em:10/06/2019
Pela Banca Examinadora

ALDO MEROTTO JUNIOR
Orientador
UFRGS

SIMONE MUNDSTOCK JAHNKE
Coordenadora do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia

CATARINE MARKUS
UFRGS

DIECSON RUY ORSOLIN DA SILVA
UFSM

CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de
Agronomia

NAYLOR BASTIANI PEREZ
EMBRAPA Pecuária Sul

AGRADECIMENTOS

A toda minha família, em especial aos meus irmãos Marcio e Cláucia, e meus pais Mario e Salete, pelo amor, dedicação, apoio e esforço desmedido para minha formação.

A minha querida companheira de todas as horas, Indianara Müller, pelo amor, carinho, apoio, compreensão e pelos momentos compartilhados nesta caminhada.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pela oportunidade e estrutura concedida para a realização deste trabalho.

Ao professor Aldo Merotto Junior pela confiança, apoio, paciência, respeito, dedicação e amizade, contribuindo de forma imensurável para o meu crescimento pessoal, profissional e intelectual.

A todos os professores que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

A todos os servidores da UFRGS, em especial aos servidores do departamento de Plantas de Lavoura Fábio, Gustavo, e aos funcionários da Estação Experimental Agronômica pela disposição e contribuição nos momentos que necessitei.

Aos membros da banca, Dr^a. Catarine Markus, Dr. Diecson Ruy Orsolin da Silva e Dr. Naylor Bastiani Perez pela disponibilidade para participação na banca de defesa e pelas contribuições a este trabalho.

Aos amigos(as) e colegas do GUIHE, Luan, Carlos, Tiago, Guilherme, Christian, Walker, Rafael, Giliardi, Catarine, Andrew, Natane, Enrico, Paula, Emerson, Joana e Estéfani pela convivência, amizade e auxílios prestados.

A todos os meus amigos, pela amizade, apoio e companheirismo em todos os momentos.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos e a Embrapa Pecuária Sul pelo apoio na execução dos experimentos.

Enfim, a todos, mesmo não citados, que de alguma forma contribuíram para que este trabalho pudesse ser realizado, meu sincero

MUITO OBRIGADO!

NÍVEL DE DANO ECONÔMICO, CONTROLE E DIVERSIDADE GENÉTICA DE CAPIM-ANNONI (*Eragrostis plana* Nees)¹

Autor: Mateus Gallon

Orientador: Prof. Dr. Aldo Merotto Junior

RESUMO

O capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) é uma planta invasora importante que tem causado grandes prejuízos econômicos na pecuária e na sustentabilidade do Bioma Pampa. O conhecimento da variabilidade das diferentes populações de capim-annoni é importante para o entendimento da evolução do processo de invasão. Ainda, existe a necessidade de quantificação dos parâmetros de indicação dos prejuízos causados e do aprimoramento de métodos de controle existentes. Os objetivos desta tese foram quantificar o nível de dano econômico (NDE), otimizar os parâmetros de aplicação do equipamento de aplicação localizada de herbicida Campo Limpo®, e determinar a variabilidade genética e estrutura populacional de populações de capim-annoni. A determinação do NDE foi realizada em áreas de pastagem natural, pastagem natural melhorada e brachiária Mulatto II com diferentes níveis de infestação de capim-annoni. Os estudos relacionados ao equipamento Campo Limpo® constaram de cinco experimentos a campo relacionados a diferentes formulações e doses do herbicida glyphosate, épocas de aplicação e volumes de calda. O estudo de diversidade genética foi conduzido com o uso de marcadores moleculares ribossomal e plastídico em 19 populações coletadas no Sul do Brasil. O NDE de capim-annoni em diferentes sistemas de cultivos de pastagem indica que medidas de controle devem ser adotadas a partir de 8% de infestação por touceiras de capim-annoni. As aplicações de glyphosate com o equipamento Campo Limpo® realizadas durante o verão apresentam melhor efeito de controle. O volume de calda de aplicação de 8 a 56 L ha⁻¹ apresenta resultados similares de eficiência. A formulação de glyphosate sal de di-amônio apresenta eficiência superior em comparação com as formulações isopropilamina, dimetilamina, amônio e potássico na dose de 1440 g ha⁻¹. A maioria das populações avaliadas apresentaram baixas diversidades haplotípicas e nucleotídicas para ambos os marcadores, o que significa a ocorrência de recente gargalo genético. A análise da variância molecular indicou predomínio da variabilidade entre populações, que foi de 93,20% e 74,36% para os marcadores plastidial e ribossômico, respectivamente. O NDE de 8% de touceiras caracteriza a ocorrência de grandes prejuízos caso o controle não ocorra a partir deste nível de infestação. O aplicador seletivo Campo Limpo® apresenta eficiência para o controle de touceiras de capim-annoni, bem como apresenta seletividade para a pastagem das áreas que recebem a aplicação do herbicida glyphosate. As populações de capim-annoni analisadas apresentaram baixa variabilidade dentro das populações e alta variabilidade entre populações indicando a ocorrência de evolução independente nos aproximadamente 60 anos desde que esta espécie foi introduzida no Brasil.

¹ Tese de Doutorado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (143f.) Junho, 2019.

ECONOMIC THRESHOLD, CONTROL AND GENETIC DIVERSITY OF CAPIM-ANNONI (*Eragrostis plana* Nees)²

Author: Mateus Gallon
Adviser: Prof. Dr. Aldo Merotto Junior

ABSTRACT

Eragrostis plana (South African lovegrass) is an important invasive plant that has caused great economic damages in natural grasslands and challenged the sustainability of the Pampa biome. The knowledge of the variability of the *E. plana* populations is important for the understanding of the evolution of the invasion of this specie. Furthermore, there is a need to determine the economic threshold and the improvement of existing control methods of *E. plana*. The objectives of this thesis were to optimize the herbicide application parameters of the equipment Campo Limpo[®], to quantify the economic threshold and to determine the genetic variability and population structure of *E. plana* populations in Southern Brazil. The studies related to Campo Limpo[®] equipment consisted of five field experiments related to different glyphosate formulations and doses, times of application, and spray volumes. The economic threshold study was performed in areas of natural pasture, improved natural pasture and Mulatto II Brachiaria with different levels of *E. plana* infestation. The study of genetic diversity was conducted with ribossomic and plastidic molecular markers in 19 populations collected in southern Brazil. The economic threshold in different pasture cropping systems indicates that control measures should be adopted from 8% of *E. plana* infestation. The applications of glyphosate with the Campo Limpo[®] equipment performed during the summer have a better control effect. The application volume of 8 to 56 L ha⁻¹ shows similar efficiency results. The formulation of glyphosate di-ammonium salt presents superior efficiency compared to the formulations isopropylamine, dimethylamine, ammonium and potassium at the dose of 1440 g ha⁻¹. Most of the populations evaluated presented low haplotype and nucleotide diversity for both markers, which indicates the occurrence of a recent genetic bottleneck. The analysis of the molecular variance indicated predominance of the variability between populations that was 93.20% and 74.36% for the plastidial and ribosomal markers, respectively. The infestation of 8% of tussocks characterizes the economic threshold for *E. plana*. The equipment Campo Limpo[®] presents efficiency for the control of *E. plana* tussocks, as well as provide selectivity to the pasture of the areas that receive the application of glyphosate herbicide. The *E. plana* populations analyzed showed low variability within populations and high variability among populations indicating the occurrence of independent evolution in the 60 years since this species was introduced in Brazil.

² Doctoral Thesis in Plant Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (143p.) June, 2019.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo geral	4
1.2 Objetivos específicos.....	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 A invasão biológica do capim-annoni no Brasil.....	5
2.2 Danos causados pelo capim-annoni.....	7
2.4 Controle de capim-annoni	12
2.5 O herbicida glyphosate.....	13
2.6 Diversidade genética.....	15
2.8 Referências Bibliográficas	17
3 CAPÍTULO 1 - Interferência e nível de dano econômico de capim-annoni em três sistemas de pastagem	26
3.1 Introdução	28
3.2 Material e Métodos.....	30
3.2.1 Descrição dos experimentos	30
3.2.2 Caracterização das áreas experimentais.....	31
3.2.3 Avaliações.....	31
3.2.4 Análise dos dados	32
3.3 Resultados	35
3.3.1 Redução da produtividade do estrato inferior	35
3.3.2 Nível Crítico de Dano (NCD)	42
3.3.3 Nível de Dano Econômico (NDE)	44
3.4 Discussão.....	47
3.5 Conclusões	54
3.6 Referências Bibliográficas	55
4 CAPÍTULO 2 - Avaliação do controle de capim-annoni através de equipamento de aplicação localizada de herbicida	61
4.1 Introdução	63
4.2 Material e Métodos.....	65

4.2.1	Área experimental, delineamento estatístico e condições de aplicação dos tratamentos	65
4.2.2	Experimentos de avaliação do efeito de diferentes formulações e dose de glyphosate e clethodim.....	66
4.2.3	Experimentos de avaliação de volumes de calda na aplicação de glyphosate	67
4.2.4	Experimentos de avaliação de altas doses de glyphosate.....	68
4.2.5	Avaliações e análises dos dados.....	69
4.3	Resultados	70
4.3.1	Avaliação do efeito de diferentes formulações de glyphosate.....	70
4.3.2	Avaliação do efeito do volume de calda.....	78
4.3.3	Avaliação do efeito de altas doses de glyphosate	84
4.4	Discussão.....	87
4.5	Conclusões	95
4.6	Referências Bibliográficas	95
4.7	APÊNDICES.....	99
5	CAPÍTULO 3 - Estrutura de populações de capim-annoni (<i>Eragrostis plana</i> Nees) na região Sul do Brasil	103
5.1	Introdução	105
5.2	Material e Métodos.....	107
5.2.1	Coleta, armazenagem e semeadura das populações	107
5.2.2	Coleta de material vegetal e extração de DNA	108
5.2.3	Escolha dos marcadores moleculares, amplificação e sequenciamento de DNA .	110
5.2.4	Análise dos dados	112
5.3	Resultados e Discussão	112
5.3.1	Análise de diversidade genética e variância molecular	112
5.3.2	Estrutura populacional.....	117
5.4	Conclusões	120
5.5	Agradecimentos	120
5.6	Referências Bibliográficas	121
5.7	APÊNDICES.....	125
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	128
7	VITA.....	130

RELAÇÃO DE TABELAS

Página

CAPÍTULO 1

1. Número e diâmetro médio das touceiras e cobertura de solo por touceiras de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) determinada por meio da contagem e mensuração do diâmetro das touceiras em cada parcela. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2016..... 35
2. Redução da produtividade do estrato inferior em relação à testemunha em função da densidade de touceiras para as sete avaliações realizadas na área de pastagem natural. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019..... 39
3. Redução da produtividade do estrato inferior em relação à testemunha em função da densidade de touceiras para as sete avaliações realizadas na área de pastagem natural melhorada. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019. 39
4. Parâmetros das equações do modelo de hipérbole retangular para determinar a perda percentual da produtividade de pastagem causada pela infestação de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) em diferentes sistemas de condução de pastagem. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2018..... 43

CAPÍTULO 2

1. Tratamentos empregados no experimento de controle de capim-annoni com cinco diferentes sais de glyphosate e uma formulação de cletodim. UFRGS, Porto Alegre - RS, 2019. 67
2. Tratamentos empregados no experimento de controle de capim-annoni com cinco volumes de calda para dois diferentes sais de glyphosate. UFRGS, Porto Alegre - RS, 2019..... 68
3. Tratamentos empregados no experimento de controle de capim-annoni com cinco doses para dois diferentes sais de glyphosate. UFRGS, Porto Alegre - RS, 2018..... 69

CAPÍTULO 3

1. Acessos de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) utilizados nas avaliações moleculares com sua respectiva origem e coordenada geográfica. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019. 108

2.	Sequência nucleotídica e características dos marcadores utilizados na amplificação de DNA do cloroplasto e nuclear. UFRGS, Porto Alegre/RS. 2019. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019.	111
3.	Índice de diversidade genética e testes de neutralidade das 19 populações de capim-annoni (<i>Eragrostis plana</i> Nees) para o marcador ribossomal ITS4-ITS5. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019.	115
4.	Índice de diversidade genética e testes de neutralidade das 19 populações de capim-annoni (<i>Eragrostis plana</i> Nees) para o marcador plastidial rps16x2F2-trnK. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019.	116
5.	Análise de variância molecular (AMOVA) das 19 populações de capim-annoni (<i>Eragrostis plana</i> Nees) para o marcador plastidial rps162xF2-trnK. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019.	117
6.	Análise de variância molecular (AMOVA) das 19 populações de capim-annoni (<i>Eragrostis plana</i> Nees) para o marcador ribossomal ITS4-ITS5. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019.	117

RELAÇÃO DE FIGURAS

Página

CAPÍTULO 1

1. Redução da produtividade de massa seca do estrato inferior em relação à testemunha sem infestação de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) (A) e produtividade da pastagem (B) em função da porcentagem de cobertura de capim-annoni em três sistemas de condução de pastagem na avaliação realizada em dezembro/2015. Barras verticais representam o intervalo de confiança ($p < 0,05$). UFRGS, Porto Alegre/RS, 2018..... 36
2. Redução da produtividade de massa seca do estrato inferior em relação à testemunha (sem infestação de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) e produtividade do estrato inferior (B) em função da porcentagem de cobertura de capim-annoni em três sistemas de condução de pastagem em março (A e B), agosto (C e D) e dezembro (E e F) de 2016. Barras verticais representam o intervalo de confiança ($p < 0,05$). UFRGS, Porto Alegre/RS, 2018..... 38
3. Redução da produtividade de massa seca do estrato inferior em relação à testemunha (sem infestação de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) e produtividade do estrato inferior em função da porcentagem de cobertura de capim-annoni em três sistemas de condução de pastagem em março (A e B), setembro (C e D) de 2017 e fevereiro de 2018 (E e F). Barras verticais representam o intervalo de confiança ($p < 0,05$). UFRGS, Porto Alegre/RS, 2018... 41
4. Nível de dano econômico (NDE) de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) em três sistemas de condução de pastagem: Pastagem natural (A) pastagem natural melhorada (B) e Brachiária Mulatto II (C), considerando três cenários de conversão alimentar (15, 20 e 25 Kg Kg⁻¹) e três cenários de custo de controle (200, 300 e 400 R\$ ha⁻¹) para coleta realizada em dezembro/2015. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2018. 45
5. Nível de dano econômico (NDE) de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) em dois sistemas de condução de pastagem: Pastagem natural (A) pastagem natural melhorada (B), considerando três cenários de conversão alimentar (15,

20 e 25 Kg Kg ⁻¹) e três cenários de custo de controle (200, 300 e 400 R\$ ha ⁻¹) para coleta realizada em agosto/2016. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2018.	46
6. Nível de dano econômico (NDE) de capim-annoni (<i>Eragrostis plana</i> Nees) em três sistemas de condução de pastagem: Pastagem natural (A), pastagem natural melhorada (B) e Brachiária Mulatto II (C) considerando três cenários de conversão alimentar (15, 20 e e 25 Kg Kg ⁻¹) e três cenários de custo de controle (200, 300 e 400 R\$ ha ⁻¹) para coleta realizada em fevereiro/2018. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2018.	47
CAPÍTULO 2	
1. Aplicador seletivo de herbicidas Campo Limpo.	64
2. Avaliações visuais de controle de touceiras de capim-annoni (<i>Eragrostis plana</i> Nees) aos 7 (A), 28 (B), 56 (C), 90 (D), 150 (E) DAA e 90 dias após a roçada (360 DAA) (F) de seis herbicidas em duas doses aplicados no verão-2017. UFRGS, Porto Alegre, 2019. Barras seguidas da mesma letra minúscula entre as doses e da mesma letra maiúscula entre os herbicidas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p<0,05).	71
3. Avaliações visuais de controle de touceiras de capim-annoni (<i>Eragrostis plana</i> Nees) aos 7 (A), 28 (B), 56 (C), 90 (D), 150 (E) DAA e 90 dias após a roçada (360 DAA) (F) dos seis herbicidas em duas doses no inverno-2017. UFRGS, Porto Alegre, 2019. Barras seguidas da mesma letra minúscula entre as doses e da mesma letra maiúscula entre os herbicidas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p<0,05).	73
4. Redução da massa de touceiras de capim-annoni (<i>Eragrostis plana</i> Nees) aos 35 DAA (A) e 90 dias após roçada (B), redução da emissão de panículas (C) e produtividade da pastagem (D) aos 35 DAA após a aplicação dos seis herbicidas em duas doses no verão-2017. UFRGS, Porto Alegre, 2019. Barras seguidas da mesma letra minúscula entre as doses e da mesma letra maiúscula entre os herbicidas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p<0,05).	75
5. Redução da massa de touceiras de capim-annoni (<i>Eragrostis plana</i> Nees) aos 35 DAA (A) e 90 dias após roçada (360 DAA) (B), redução da emissão de panículas (C) e produtividade da pastagem (D) aos 35 DAA após a aplicação dos seis herbicidas em duas doses no inverno-2017. UFRGS, Porto Alegre, 2019. Barras seguidas da mesma letra minúscula entre as doses e da mesma letra maiúscula entre os herbicidas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p<0,05).	77
6. Avaliações visuais de controle de touceiras de capim-annoni (<i>Eragrostis plana</i> Nees) aos 7 (A), 28 (B), 56 (C), 90 (D), 150 DAA (E) e 90 dias após roçada (360	

- DAA) (F) após a aplicação de dois herbicidas em quatro volumes de calda no verão-2017. UFRGS, Porto Alegre, 2019. Barras seguidas da mesma letra minúscula entre as doses e da mesma letra maiúscula entre os herbicidas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$)..... 79
7. Avaliações visuais de controle de touceiras de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) aos 7 (A), 28 (B), 56 (C), 90 (D), 150 DAA (E) e 90 dias após roçada (360 DAA) (F) após a aplicação de dois herbicidas em quatro volumes de calda no inverno-2017. UFRGS, Porto Alegre, 2019. Barras seguidas da mesma letra minúscula entre as doses e da mesma letra maiúscula entre os herbicidas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$)..... 80
8. Redução da massa de touceiras de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) aos 35 DAA (A) e 90 dias após roçada (360 DAA) (B), redução da emissão de panículas (C) e produtividade da pastagem (D) aos 35 DAA após a aplicação de dois herbicidas em quatro volumes de calda no verão-2017. UFRGS, Porto Alegre, 2019. Barras seguidas da mesma letra minúscula entre as doses e da mesma letra maiúscula entre os herbicidas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$)..... 81
9. Redução da massa de touceiras de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) aos 35 (A) e 90 dias após roçada (360 DAA) (B), redução da emissão de panículas (C) e produtividade da pastagem (D) aos 35 DAA após a aplicação dos seis herbicidas em duas doses no inverno-2017. UFRGS, Porto Alegre, 2019. Barras seguidas da mesma letra minúscula entre as doses e da mesma letra maiúscula entre os herbicidas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$)..... 83
10. Avaliações visuais de controle de touceiras de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) aos 7 (A), 28 (B), 56 (C), 90 (D), 150 (E) e 90 dias após roçada (360 DAA) (F) após a aplicação de dois herbicidas em cinco doses no verão-2018. UFRGS, Porto Alegre, 2019. Barras verticais representam o intervalo de confiança ($p < 0,05$)..... 85
11. Redução da massa de touceiras de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) aos 35 DAA (A) e 90 dias após roçada (360 DAA) (B), redução da emissão de panículas (C) e produtividade da pastagem (D) aos 35 DAA após a aplicação dos dois herbicidas em cinco doses no verão-2018. UFRGS, Porto Alegre, 2019. Barras verticais representam o intervalo de confiança ($p < 0,05$)..... 87
- CAPÍTULO 3
1. Gráfico em barras gerado pela análise implementada no programa BAPS (Bayesian Analysis of Population Structure) a qual estima a probabilidade posterior da formação de grupos que são representados pelas cores para o

marcador ribossomal ITS4- ITS5. Cada indivíduo é representado por uma única barra vertical atribuída aos quatro grupos K (vermelho, verde, azul e amarelo). UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019.	119
2. Gráfico em barras gerado pela análise implementada no programa BAPS (Bayesian Analysis of Population Structure) a qual estima a probabilidade posterior da formação de grupos que são representados pelas cores para o marcador plastidial rps162xf2-trnK. Cada indivíduo é representado por uma única barra vertical atribuída aos quatro grupos K (vermelho, verde e azul). UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019.	119

1 INTRODUÇÃO

A espécie *Eragrostis plana* Nees (capim-annoni) é uma planta da família Poaceae de ciclo de vida perene estival de verão, alóctone, que se reproduz por sementes. A origem da infestação no Brasil é atribuída a introdução acidental no estado do Rio Grande do Sul como contaminante em sementes de capim-chorão (*Eragrostis curvula*) e do capim de Rhodes (*Chloris gayana* Kunth), advindos da África do Sul, no início dos anos 50 (Nascimento & Hall, 1978). Devido a sua tolerância a geada, o capim-annoni foi multiplicado a partir da década de 1970 com o nome de capim-annoni-2 (Medeiros & Focht, 2007). Poucos anos após o início da disseminação do capim-annoni como forrageira na região Sul do Brasil, vários trabalhos mostraram que a mesma não apresentava vantagens como forrageira devido sua baixa qualidade nutricional, baixa palatabilidade e por provocar o desgaste acelerado dos dentes dos animais, que culminavam com a diminuição na produção pecuária (Reis & Coelho, 2000).

A invasão do capim-annoni é um fenômeno de larga escala geográfica. A espécie se propagou rapidamente por todo o estado do RS, e, atualmente é encontrada em diversos estados brasileiros (Medeiros & Focht, 2007), tendo sido registrada também na Bélgica (Verloove, 2006), Nova Zelândia (Howell & Sawyer, 2006), Estados Unidos (USDA, 2015), Reino Unido (Ryves *et al.*, 1996), Uruguai e Argentina (Medeiros & Focht, 2007). O avanço da invasão do capim-annoni está relacionado a sua alta prolificidade, que pode chegar a 300.000 sementes por planta, em condições não competitivas (Kissmann & Groth, 1999). Além destas características, modelos bioclimáticos utilizados para prever a distribuição potencial de espécies invasoras, demonstraram que a maior parte do sul da América do Sul apresenta condições climáticas ótimas para o desenvolvimento desta espécie (Barbosa *et al.*, 2013).

No estado do RS as perdas com o capim-annoni, em um período de dez anos (1996 a 2006), foram estimadas em US\$ 88 milhões levando em consideração

somente a falta de produção das áreas invadidas, estimadas em 20% do estado (Embrapa, 2008; Focht & Medeiros, 2012). No entanto, trabalhos que indicam o real potencial de interferência do capim-annoni na pastagem e na produtividade dos campos são inexistentes. O conhecimento da capacidade de interferência de plantas daninhas sobre as culturas é fundamental na tomada de decisão para realização do controle. No entanto, somente considerando o nível de dano econômico (NDE) da planta daninha será possível determinar a densidade dessas cujas interferências sobre a cultura justifique o custo de seu controle (Vidal *et al.*, 2004). A magnitude da interferência e o NDE não são conhecidos para capim-annoni.

Várias práticas de manejo do capim-annoni vêm sendo estudadas desde o final da década de 70 (Medeiros & Focht, 2007). A similaridade botânica do capim-annoni com espécies desejáveis da pastagem impossibilita a utilização de herbicidas em área total. A tentativa de utilização de protetores (anidrido naftálico, dietholate e fluxofenim) em conjunto com herbicidas, para proporcionar seletividade à pastagem natural somente foi verificado em condições controladas para anidrido naftálico. A campo o controle de capim-annoni e o aumento da seletividade de herbicidas em função da ação de protetores não foram encontrados (Goulart *et al.*, 2012). A limitação de métodos culturais e físicos aplicados em larga escala e os contínuos aumentos dos problemas causados pelo capim-annoni justificaram a busca de opções para o controle dessa planta daninha. Assim, com o intuito de controlar a invasora sem prejudicar as espécies forrageiras, como ocorreria com a pulverização convencional, foi desenvolvido na Embrapa Pecuária Sul, o aplicador seletivo de herbicidas Campo Limpo® (Perez, 2010). Esse equipamento possibilita a aplicação de herbicidas por meio de cordas umedecidas e a seletividade é obtida em virtude da diferença de altura que se estabelece entre as plantas forrageiras consumidas pelo gado e as espécies indesejáveis que possuem maior altura (Perez, 2015). No entanto, existem poucas informações sobre a otimização de dose de herbicida e volume de calda e sobre os resultados da aplicação em diferentes épocas do ano.

Além do entendimento do potencial de interferência do capim-annoni nos campos de produção de pastagens, é importante analisar e entender como as populações de capim-annoni se estruturaram ao longo dos 70 anos após sua introdução no Brasil. Análises filogeneéticas podem ser usadas para explorar a

história da migração de uma espécie, incluindo as espécies que colonizaram recentemente uma área (Hweitt, 2008; Schaal *et al.*, 2003). Para as espécies invasoras, a análise filogenética pode fornecer informações sobre a população(ões) de origem de um invasor, bem como elucidar padrões de propagação da espécie (Rosenthal *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2010). Além disso, a distribuição da diversidade genética dentro e entre populações pode elucidar sobre a facilitação humana de propagação e, assim, auxiliar no desenvolvimento de estratégias de manejo adequadas (Ward, 2008), sendo que a variabilidade das populações é determinante na eficácia dos métodos de controle (Sterling *et al.*, 2004). As características do capim-annoni em relação a evolução de diferenciação entre populações desde o início da infestação no Brasil não são conhecidas. Existem relatos apenas da dispersão desta espécie para diversas regiões. A identificação da diferenciação genética entre populações pode ser um indicativo da adaptação diferencial, o que se caracteriza como um fator de aumento futuro da infestação e dos prejuízos causados. Ainda, existência de grande diversidade genética entre populações é um fator que pode dificultar a eficiência de métodos biológicos de controle.

A importância econômica, social e ecológica do capim-annoni tem sido motivadora de uma grande variedade de estudos nas últimas décadas. Devido ao grande número de áreas envolvidas no seu estudo, nem todas foram contempladas com profundidade até o momento. Um exemplo disso são as características de potencial de interferência, que embora fundamentais o entendimento do real problema e para implementação de estratégias eficazes de manejo, são escassos na literatura científica especializada. Outra área que apresentou certos avanços, mas não conseguiu estabelecer métodos realmente eficientes, é o desenvolvimento de manejos para o controle da espécie, principalmente por meio de técnicas que preservem a diversidade original das áreas de pastagem natural. Estudos mais aprofundados, voltados à estrutura genética das populações, podem contribuir na compreensão da interação da espécie com a comunidade vegetal e entender outras características que podem estar contribuindo na invasão e domínio de novas áreas pelo capim-annoni.

1.1 Objetivo geral

Determinar o potencial de interferência e o nível de dano econômico (NDE) de capim-annoni, avaliar a eficiência de controle através de equipamento de aplicação dirigida Campo Limpo® e determinar a estrutura genética de populações de capim-annoni.

1.2 Objetivos específicos

i) quantificar a interferência e o nível de dano econômico de capim-annoni em três sistemas de cultivo de pastagens.

ii) avaliar o controle de capim-annoni por meio de equipamento de aplicação dirigida Campo Limpo® em função de variações do herbicida, dose, volume e época de aplicação.

iii) identificar a estrutura das populações e a variabilidade genética intra e interpopulacional de populações de capim-annoni de diferentes locais da região Sul do Brasil.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A invasão biológica do capim-annoni no Brasil

Os primeiros registros do capim no Rio Grande do Sul datam da década de 1950 (Reis, 1993), quando supostamente foi introduzida de forma acidental, junto com sementes de capim-chorão (*Eragrostis curvula*) e capim de Rhodes (*Chloris gayana* Kunth) trazidos ao RS, advindos da África do Sul. Na década de 1970, o capim-annoni foi multiplicado e distribuído sob a forma de sementes para várias regiões do RS e outros estados pelo Grupo Rural Annoni, de Sarandi/RS (Medeiros & Focht, 2007) sob o nome comercial “capim-annoni-2”. A origem do nome comum é atribuída ao fato do Sr. José Annoni, dono do Grupo Rural Annoni ter encontrado em sua propriedade, na cidade de Sarandi (atualmente a localidade pertence ao município de Pontão), a espécie *Setaria* cf. *onuros* Willd. ex Trin. (= *Setaria* cf. *vaginata* Spreng), que recebeu o nome capim-annoni-1, e o nome capim-annoni-2 foi atribuído a *E. plana* Nees (Reis, 1993).

O capim-annoni foi inicialmente considerado como ótima forrageira devido à grande produção de folhagem e resistência a geada. Entretanto, estudos conduzidos ainda na década de 1970 revelaram que era uma espécie problemática, pois apresentava baixa qualidade nutricional e ocupava facilmente campos e pastagens, além de ser rejeitada pelos bovinos, permitindo completar seu ciclo de vida e dispersar sua população. Com base nesses estudos, em treze de março de 1979 o Ministério da Agricultura publicou a Portaria MA nº 205, que proibiu e ainda proíbe a comercialização, transporte, importação e exportação de sementes e mudas do capim-annoni no RS (Focht, 2008). Devido a seus resultados pouco promissores e a proibição de sua comercialização, foi então classificada como uma planta invasora, concentrando-se os esforços em seu controle e possível erradicação (Alfaya *et al.*, 2002).

Desde o início dos anos 1990 o capim-annoni é considerada a invasora mais agressiva e de mais difícil controle nos campos do RS (Reis, 1993). Não existem levantamentos conclusivos sobre sua cobertura no RS, mas supõe-se que a área invadida seja superior a um milhão de hectares, ou aproximadamente 10% da área do Bioma Pampa no RS (Medeiros *et al.*, 2005; Scheffer-Basso *et al.*, 2012). Aproximadamente 20% da vegetação do estado do RS encontra-se infestada com a espécie, o que corresponde a uma área de 3,1 milhões de hectares, podendo, um único indivíduo, gerar em torno de 300.000 sementes (Medeiros *et al.*, 2005). A expansão para outras regiões ocorreu pelo transporte de animais e fluxo de veículos (Lisboa *et al.*, 2009). Em razão disso, o capim-annoni tem se tornado frequente em acostamentos viários, constituindo-se no principal foco dispersor da espécie (Medeiros & Focht, 2007). Outra questão que influenciou e ainda influencia a disseminação de capim-annoni é o fato de que muitos produtores acabam não combatendo o capim-annoni, pela necessidade de fonte de matéria seca para o rebanho bovino nas épocas de escassez de pastagem nativa, principalmente no inverno (Focht, 2008).

O capim-annoni é uma espécie perene, estival, cespitosa, rota fotossintética C4 e nativa da África do Sul, que pode formar um sistema radicular profundamente enraizado e atingir até 110 cm de altura após emitir a inflorescência (Sieben *et al.*, 2010). O capim-annoni é facilmente confundido com capim-touceirinha (*Sporobolus indicus* (L.)) quando adulta e não florescida. Porém, quando visualizada a base da bainha, a identificação torna-se mais fácil, pois o capim-annoni possui a base da bainha fortemente achatada, lisa e brilhante (Reis, 1993).

A principal forma de reprodução do capim-annoni é via sementes (reprodução sexual), porém, pode também reproduzir-se vegetativamente, pela expansão lateral das touceiras. Apresenta antécios díóicos e, provavelmente, apresenta fecundação cruzada. A semente é pequena, (0,14 x 0,06 x 0,04 cm), de coloração vermelho-alaranjada a castanho (Kissmann & Groth, 1999), com peso médio de mil sementes de 0,21g (Medeiros *et al.*, 2014), permanecendo viável no solo por mais de cinco anos, devido a presença de dormência das sementes (Medeiros *et al.*, 2005). O sistema radicular é fasciculado, grosso, profundo e muito desenvolvido (Ferreira *et al.*, 2008; Carlotto *et al.*, 2010). Apresenta também constantes renovações em sua estrutura basal onde há a compactação de

inúmeros perfilhos, e distribuição subterrânea e alongamento das raízes apenas na fase reprodutiva (Scheffer-Basso *et al.*, 2012).

Além do grande número de sementes, o capim-annoni apresenta fase juvenil curta e colonização de locais alterados (ruderal), longevidade e grande habilidade competitiva e ciclos de repetidas reproduções (Pianka, 1970). O enraizamento profundo aliado a alta densidade de raízes permite ao capim-annoni uma eficiente captação de água e nutrientes do solo, habilitando sua permanência em ambientes relativamente pobres em recursos, principalmente aqueles que sofreram distúrbios (Focht, 2008). O capim-annoni habita mais frequentemente solos secos, porém pode ser encontrado em solos mal drenados ou mesmo encharcados. Na África do Sul está limitado à úmida porção oriental do país, que apresenta solos ácidos. O principal processo de estabelecimento de populações do capim-annoni ocorre pela ocupação dos espaços abertos na comunidade, em campos degradados pelo pastejo e pisoteio excessivos ou pelo cultivo intenso do solo (Oliveira, 1993) e em margens de estradas (Medeiros & Focht, 2007).

A semelhança genética do capim-annoni com as espécies forrageiras nativas ou mesmo as cultivadas, limitam o controle químico com herbicidas aplicados em área total. O gênero *Eragrostis*, uma vez pertencente à família *Poaceae*, é a mesma família de forrageiras importantes dos gêneros *Paspalum*, *Panicum* e *Andropogon*, por exemplo. Sendo assim, herbicidas que afetam poáceas têm potencial para controlar o capim-annoni, mas igualmente podem causar intoxicação em espécies forrageiras desta família (Goulart *et al.*, 2012).

2.2 Danos causados pelo capim-annoni

Um dos principais fatores que influencia o crescimento, desenvolvimento e produtividade das pastagens é interferência causada por plantas daninhas (Silva & Silva, 2007). A competição direta e indireta por água, luz e nutrientes reduz qualitativamente e quantitativamente o rendimento forrageiro, refletindo diretamente nos ganhos de rendimento do rebanho (Jakelaitis *et al.*, 2010). Nos 13 milhões de hectares de pastagem nativa na região Sul (Freitas *et al.*, 2010), o capim-annoni é a principal planta daninha (Carvalho & Batello, 2009). Nessas áreas localizam-se os campos de pecuária de corte do RS e os remanescentes da vegetação campestre típica do Bioma Pampa (Hasenack *et al.*, 2007), os quais vem sendo anualmente reduzidos por conta da expansão dessa invasora. Em um

período de dez anos (1996 a 2006), as perdas causadas por capim-annoni foram estimadas em US\$ 88 milhões, levando em consideração somente a falta de produção das áreas invadidas, estimadas em 20% da área do estado do RS (Embrapa, 2008; Focht & Medeiros, 2012). Embora o custo monetário possa ser estimado, é praticamente impossível valorar as perdas decorrentes do impacto ambiental.

Os danos causados pelo capim-annoni podem ter início pouco tempo após a introdução em uma nova área, pois o capim-annoni tende a se tornar dominante sobre as espécies nativas da comunidade vegetal logo após a sua introdução. Esse processo é atribuído às suas características de elevada prolificidade e mecanismos de defesa e preservação bem desenvolvidos (Medeiros & Focht, 2007). A disseminação das sementes, principalmente via zoocoria, a preferência de consumo de outras plantas pelos animais, elevada competitividade por água, luz e nutrientes e a inexistência de inimigos naturais também contribuem para a dominância da espécie (Reis & Coelho, 2000). Uma única planta de capim-annoni pode produzir até 300.000 sementes, em uma única estação (Kissmann & Groth, 1999). As sementes de capim-annoni mantêm sua viabilidade por até oito dias no trato digestivo de bovinos (Lisboa *et al.*, 2009), por até três anos na superfície do solo e por mais de 20 anos quando estiverem enterradas (Medeiros *et al.*, 2014). Essas características de disseminação favorecem o processo de invasão de novas áreas e auxiliam no estabelecimento da competição entre as espécies.

O capim-annoni apresenta elevada competitividade de crescimento em relação ao campo nativo. Esta vantagem pode ser determinada, entre outros fatores, pela presença de um sistema radical ramificado, grosso, profundo e muito desenvolvido (Reis & Coelho, 2000; Ferreira *et al.*, 2008; Carlotto *et al.*, 2010), que proporciona maior absorção de nutrientes e acesso à umidade do solo pelo capim-annoni. As suas raízes são tão extensas e vigorosas que permitiam que o gado fosse amarrado as suas touceiras nas paradas para alimentação e descanso durante o deslocamento do rebanho por grandes distâncias pelos primeiros colonizadores europeus que chegaram a África do Sul (Arber, 2010). As raízes da espécie também apresentam maior crescimento na camada mais superficial do solo (0-10 cm) do que as espécies do campo nativo da região Sul do Brasil. Assim, o capim-annoni também leva vantagem competitiva na absorção dos nutrientes presentes na camada superficial do solo (Abichequer *et al.*, 2009). Gramíneas com

baixo teor de N no tecido e com hábito cespitoso, como o capim-annoni, apresentam maior sistema radical e maior relação raiz/parte aérea do que as com alto teor de N, espécies rizomatosas e estoloníferas, como *Paspalum notatum* e *Axonopus affinis*, respectivamente, sendo mais competitivas do que as de alto teor de N em solos pobres no nutriente (Craine *et al.*, 2002; Medeiros & Focht; 2007).

O mecanismo fotossintético é outra grande vantagem do capim-annoni frente as plantas com as quais ele compete. O capim-annoni possui sistema fotossintético de fixação de carbono do tipo C4, atingindo a máxima assimilação de carbono ($25,88 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) em 30°C (Botha, 1992). Com isso, o crescimento dos indivíduos dessa espécie é facilitado quando da ausência de sombreamento, condição comum nas áreas cultivadas com forragens na região Sul do Brasil, (Scheffer-Basso *et al.*, 2016). Além disso, o sistema fotossintético C4 garante maior eficiência dessa espécie em ambientes quentes e secos, por diminuir a fotorrespiração e minimizar a perda de água (Taiz & Zeiger, 2010). Com as mudanças climáticas observadas nos últimos anos, incluindo elevação da concentração de dióxido de carbono (CO₂) e das temperaturas médias globais na atmosfera, podem acentuar as diferenças observadas entre os mecanismos de fluxo de carbono nos processos fotossintéticos (Valeria & Santiago, 2011).

O capim-annoni também é capaz de provocar danos por meio do seu metabolismo especializado para a produção de aleloquímicos, também chamada de alelopatia. Atividade alelopática já foi atribuída ao capim-annoni em trabalhos avaliando a bioatividade da fitomassa e de extratos sobre a germinação e desenvolvimento de plântulas de espécies cultivadas e invasoras. Em um dos trabalhos pioneiros, Coelho (1986) identificou efeito deletério do solo de área contaminada com capim-annoni na germinação e no desenvolvimento de plântulas de trevo-branco (*Trifolium repens*) e no desenvolvimento de plântulas de azevém (*Lolium multiflorum*). Mais recentemente, foram identificados alguns compostos fenólicos com potencial alelopático em extratos da parte aérea e do sistema radicular da planta (Favaretto *et al.*, 2015; Fiorenza *et al.*, 2016).

A invasão de campos por plantas invasoras, como o capim-annoni, pode ser facilitada pela intensificação no uso agrícola (Marshall, 2002), evento que tem sido observado na região Sul do Brasil nas décadas recentes. Adicionalmente, há uma baixa preferência do gado pela parte aérea do capim-annoni, permitindo que a planta se desenvolva, floresça e produza sementes (Ferreira *et al.*, 2008). Durante

períodos de baixa disponibilidade de forragem, os animais se alimentam das panículas de *E. plana*, auxiliando na disseminação das sementes (Focht & Medeiros, 2012). A combinação desses fatores, aliado a dificuldade no manejo das populações de capim-annoni, ajudam a explicar por que as pastagens infestadas apresentam rentabilidade e valores de terra reduzidos.

Além da questão de perdas econômicas causadas pela invasão do capim-annoni, há muitas outras do ponto de vista ambiental. Nos ecossistemas naturais, as espécies de plantas, animais e microrganismos exóticos introduzidos podem ameaçar a biodiversidade das espécies nativas, tendo sido responsabilizadas por declínio de 42% das populações de espécies ameaçadas de extinção nos Estados Unidos (Pimentel, 2011). O Pampa é o segundo Bioma mais devastado do país atualmente, sendo superado somente pela degradação da Mata Atlântica. A área original do Bioma era composta por 176,5 mil km², o que correspondia a 63% do território gaúcho (Ferreira & Fillipi, 2010). Menos de 36% da vegetação original do Bioma Pampa se mantém preservada, sendo boa parte das áreas originais substituídas por lavouras de inverno e verão (sobretudo de soja, trigo e arroz), às práticas de silvicultura e ao sobrepastoreio pela pecuária (Boldrini, 2009). Assim, um dos principais responsáveis pela devastação do Bioma Pampa e pela substituição dos campos por monocultivos agrícolas e silviculturais é o capim-annoni, que desde sua introdução, na metade do século passado, vem provocando distúrbios de proporções sem precedentes. Em um trabalho que buscou avaliar diversos métodos de remoção de plantas de capim-annoni, como arranquio manual, roçadas periódicas e aplicação localizada de herbicida durante quatro anos demonstraram que, apesar da redução significativa na cobertura de capim-annoni ao longo dos anos, os tratamentos de remoção não foram eficazes o suficiente para erradicar as espécies invasoras nas parcelas (Guido & Pillar, 2017).

O conhecimento da capacidade de interferência de plantas daninhas sobre as culturas é fundamental na tomada de decisão para realização do controle. No entanto, somente considerando o nível de dano econômico (NDE) da planta daninha será possível determinar a densidade dessas cujas interferências sobre a cultura justifique o custo de seu controle (Vidal *et al.*, 2004). Para isso, além da capacidade de interferência da espécie daninha, deve-se levar em consideração o preço do produto colhido, o custo do controle e o rendimento estimado da cultura. O NDE é um conceito simples que integra fatores biológicos e econômicos que se

destina a tornar os resultados de uma tomada de decisão lucrativos para o controle das plantas daninhas (Fleck *et al.*, 2002).

A aplicação do NDE, no Brasil, é uma prática muito difundida na tomada de decisão para controle de pragas e doenças em plantas. Entretanto, a aplicação do NDE na área de plantas daninhas ainda é pouco difundida, em razão da imprevisibilidade das variáveis biológicas e econômicas (Kalsing & Vidal, 2013) que ocorrem em áreas de produção de grãos. O fato dos valores das variáveis biológicas usadas para a determinação do NDE não apresentarem estabilidade entre os anos agrícolas e locais da mesma região estão entre as principais dificuldades em usar o NDE. Da mesma forma, uma séria questão é o fato do produtor não conhecer antecipadamente qual será o rendimento da cultura na ausência das espécies infestantes (Fleck *et al.*, 2002), sendo que em áreas de pastagens esse valor tende a ser mais imprevisível. Na prática, o valor dessa variável acaba sendo apenas estimado, tendo como base o histórico de produtividade da área cultivada ou a meta de rendimento para a qual as áreas são manejadas. Outra limitação do NDE envolve a variação do valor do nível crítico de dano (NCD), que se refere ao impacto de cada indivíduo (planta daninha) no rendimento da cultura, no tempo e no espaço. Por conta desses fatores, a adoção do NDE como critério para controle de plantas daninhas em pastagens naturais, é ainda mais incipiente, limitando a adoção de medidas racionais de controle com base em tecnologias que possuam base científica.

O cálculo, interpretação e uso do NDE em áreas de pastagem é extremamente incipiente e muito menor que a adoção em áreas de culturas anuais, para as quais o mesmo também não tem seu uso muito expandido. Para as culturas anuais, várias pesquisas apontam a existência de uma significativa variação nos valores de NDE obtidos, devido a diversos fatores como diferenciação entre cultivares bem como das plantas daninhas em estudo, em sua capacidade competitiva. Este fato é atribuído ao grupo de características morfofisiológicas inerentes, como o hábito de crescimento e o ciclo de desenvolvimento a cada uma das espécies (Barroso *et al.*, 2010; Kalsing & Vidal, 2013; Parreira *et al.*, 2014), o que explica, em parte a baixa adoção desse método para tomada de decisões de manejo. Os resultados da pesquisa indicam que, quanto maior o número de variáveis consideradas no cálculo do NDE maior será seu valor e,

consequentemente, as populações de plantas necessárias para justificar economicamente a adoção de medidas de controle (Agostinetto *et al.*, 2016).

2.4 Controle de capim-annoni

O controle de capim-annoni após o seu estabelecimento em áreas de pastagem nativa é extremamente difícil. Considerando que a maioria das espécies forrageiras são gramíneas, assim como o capim-annoni, existe uma grande similaridade genética entre o capim-annoni e as plantas forrageiras. Esse é, possivelmente, o principal motivo pelo qual não foi identificado até o momento nenhum herbicida seletivo que pudesse controlar o capim-annoni e preservar as outras espécies de gramíneas forrageiras.

Entre as propostas de controle está a rotação com culturas anuais seguida da implantação de forragens cultivadas (Reis & Coelho, 2000). No entanto, o banco de sementes de capim-annoni possibilita reinfestação nas situações em que a pastagem volta a ser estabelecida. Ainda, essa alternativa apresenta limitada viabilidade, porque requer a eliminação do campo nativo temporária ou permanentemente. Embora com mais limitações, o controle químico também possui potencial para ser utilizado em capim-annoni em pastagens naturais. De modo geral, existem poucas informações sobre o efeito de herbicidas em áreas de campo nativo infestadas pela espécie, bem como sobre a associação de herbicidas com outros métodos de controle.

Várias práticas de manejo do capim-annoni vêm sendo estudadas desde o final da década de 70 (Medeiros & Focht, 2007), quando o capim-annoni deixou de ser considerada forrageira e passou a ser classificada espécie daninha invasora. Práticas como a utilização de cultivos de anuais de inverno e verão (Guterres, 1993), a utilização de controle integrado, combinando cultivos convencionais e o uso de herbicidas (Reis & Coelho, 2000), além de técnicas como roçada, pastejo intenso e controle químico com pulverização de herbicidas em área total foram testados, sem muito sucesso (Goulart *et al.*, 2009). Além desses, a tentativa de utilização de protetores capazes de controlar o capim-annoni, sem efeito na pastagem natural, só foi verificado em condições controladas; a campo o controle de capim-annoni e o aumento da seletividade de herbicidas para pastagens em função da ação de protetores não foram encontrados (Goulart *et al.*, 2012).

A limitação de métodos culturais e físicos aplicados em larga escala e os contínuos aumentos dos problemas causados pelo capim-annoni justificaram a busca de opções econômicas e exequíveis para o controle dessa planta daninha. Assim, com o intuito de controlar a invasora sem prejudicar as espécies forrageiras, como ocorreria com a pulverização convencional, foi desenvolvido pela Embrapa Pecuária Sul, o aplicador seletivo de herbicidas Campo Limpo® (Perez, 2010). Esse equipamento possibilita a aplicação de herbicida por meio de cordas umedecidas e a seletividade é obtida em virtude da diferença de altura que se estabelece entre as plantas forrageiras consumidas pelo gado e as espécies indesejáveis que possuem maior altura (Perez, 2015). Os aplicadores de herbicidas baseados em pavios de corda foram introduzidos e largamente aceitos nos EUA a partir de 1978, devido a sua grande simplicidade, baixo custo operacional e economia do herbicida (Prudente & Matuo, 1985). No entanto, existem poucas informações sobre a otimização de herbicidas, dose e volume de calda, e sobre os resultados da aplicação em diferentes épocas do ano. Da mesma forma, poucas pesquisas buscaram avaliar a eficiência de diferentes formulações de glifosato ou de produtos alternativos a esse.

2.5 O herbicida glyphosate

O herbicida glyphosate [N-(phosphonomethyl) glycine] é um dos poucos produtos com registro para uso em áreas de pastagem (AGROFIT, 2019) e, o único com recomendação de aplicação por meio do aplicador seletivo Campo Limpo®. O glyphosate é um herbicida não seletivo, sistêmico e pós-emergente que controla eficientemente um largo espectro de plantas daninhas anuais e perenes em uma ampla gama de situações agrícolas e não-agrícolas (Piola *et al.*, 2013).

Moléculas de herbicidas ácidos fracos, como o glyphosate, geralmente são modificadas com o intuito de melhorar sua estabilidade na formulação do produto comercial, com consequente melhoria de sua efetividade no controle de plantas daninhas (Travlos *et al.*, 2017). Em relação a molécula do herbicida glyphosate, o hidrogênio carboxílico ácido da molécula original é geralmente substituído por íons de um sal (Nordby & Hager, 2000). Desta forma, várias diferentes formulações com o herbicida glyphosate foram criadas e disponibilizadas para uso. No Brasil, é possível encontrar produtos formulados com glyphosate nas formas de sais de isopropilamina, dimetilamina, amônio, di-amônio e potássio. Os produtos

formulados como sal de isopropilamina são os mais numerosos (AGROFIT, 2019) e conseqüentemente os mais utilizados. A baixa utilização de outras formulações de glyphosate é limitada por vários trabalhos científicos que afirmam a inexistência de variações significativas, em termos de eficiência de controle de plantas daninhas, entre os sais de glyphosate (Richardson *et al.*, 2003; Li *et al.*, 2005; Mueller *et al.*, 2006; Agostinetto *et al.*, 2009a; Agostinetto *et al.*, 2009b; Barroso *et al.*, 2014). Situações de variação de efeito entre as formulações de glyphosate já foram relatadas em outros trabalhos (Molin & Hirase, 2004; Scherner *et al.*, 2014; Oliveira *et al.*, 2015; Costa *et al.*, 2017; Travlos *et al.*, 2017). As diferentes formulações de glyphosate podem apresentar maior velocidade de translocação e ação herbicida (Molin & Hirase, 2005) e maior controle sobre algumas espécies de plantas (Jakelaitis *et al.*, 2001; Molin & Hirase, 2004; Li *et al.*, 2005). Assim, pode-se inferir que, apesar da ausência de diferenciação entre os sais em grande parte dos casos, algumas situações específicas, a utilização de outras formulações de glyphosate, podem ocorrer variações significativas no controle de plantas daninhas que deveriam ser mais bem exploradas.

A eficiência de um herbicida no controle das espécies daninhas está diretamente ligada a alguns fatores críticos, entre eles, adequado contato com o organismo alvo, absorção pelos órgãos que recebem a aplicação e translocação dentro das plantas sem perder seu efeito tóxico até o local da ação (Oliveira *et al.*, 2015). O método de aplicação do aplicador seletivo Campo Limpo[®], por meio do contato das plantas com cordas embebidas em calda herbicida, é totalmente diferente do método convencional de aplicação por meio da pulverização (quebra da calda herbicida em gotas). Para a Campo Limpo[®], por exemplo, não ocorre perda de calda via exoderiva (causada principalmente pelo vento), processo muito comum em pulverizações, pois a calda é depositada diretamente nas folhas da espécie.

Variações na suscetibilidade ao glyphosate entre as espécies de plantas daninhas, também são causadas por redução na absorção e translocação do herbicida. Diferenças entre as formulações de sal de isopropilamina e di-amônio, mesmas formulações de glyphosate utilizadas nos experimentos altas-doses foram relatadas por Li *et al.* (2005). O herbicida glyphosate sal de di-amônio apresentou translocação para as raízes 27% maior 74 horas após a aplicação de 750 g ha⁻¹ nas espécies *Abutilon theophrasti* Medik., *Amaranthus rudis* L. e *Ipomoea lacunose*

L.). No entanto, as pequenas diferenças iniciais na absorção e translocação nas espécies não afetaram a eficácia global das formulações de glyphosate.

Outro estudo comparou a eficácia de três diferentes formulações de glyphosate (sal de isopropilamina, sal de trimesium e tetraoxosulfate) no controle de *Sida spinosa*, *Ipomoea hederacea*, *Senna obtusifolia* e *Cyperus rotundus* (Molin & Hirase, 2004). Para todas as espécies, os valores de GR₅₀ (dose que proporciona 50% da redução da massa em relação à testemunha) para o sal de tetraoxosulfate foram em torno de três vezes menores que o sal de isopropilamina. Esses resultados confirmam que a eficácia do glyphosate pode ser reforçada por formulações que aparentemente melhoram a absorção de ácido (Molin *et al.*, 2003), porém ocorrem variações específicas para cada espécie (Satchivi *et al.*, 2000).

2.6 Diversidade genética

Espécies de plantas invasoras estão se tornando cada vez mais comuns devido à grande circulação mundial de pessoas e mercadorias e podem ameaçar a biodiversidade em todo o mundo (Gilbert & Levine, 2013). Diversas gramíneas africanas foram introduzidas acidentalmente ou intencionalmente em diferentes partes do mundo (D'Antonio & Vitousek 1992; Pivello *et al.*, 1999; Williams & Baruch, 2000). A América do Sul abriga várias espécies de gramíneas invasoras nativas da África do Sul, incluindo *Digitaria decumbens* Stent., *Eragrostis ciliaris* (L.) R. Brown, *E. plana* Nees, *Hyparrhenia rufa* (Nees) Stapf., *Panicum coloratum* L., *Panicum maximum* Jacq., e *Rhynchelytrum repens* (Willd.) CE Hubb. (Filgueiras, 1990; Williams & Baruch, 2000).

Apesar da importância biológica, por provocar significativos efeitos negativos sobre as comunidades de plantas do local invadido (Levine *et al.*, 2003), as espécies invasoras também possibilitam oportunidades para se estudar e entender os processos ecológicos e evolutivos (Huey *et al.*, 2005). Como apenas um subconjunto de genes da espécie é trazido aos locais invadidos, possivelmente ocorra severa perda de diversidade genética durante o processo (Barrett *et al.*, 2008). No entanto, essa significativa perda não as torna incapazes de prosperar no ambiente novo (Huey *et al.*, 2005).

Diversos estudos demonstram que a alta diversidade genética não é um pré-requisito para o sucesso de uma espécie invasora (Dlugosch & Parker, 2008). Outras características como a plasticidade fenotípica e respostas evolutivas rápidas

são importantes para o sucesso da invasão (Buswell *et al.*, 2011; Dlugosch & Parker, 2008; Lee, 2002; Le Roux & Wiczorek, 2009; Parker *et al.*, 2003). Embora a perda da diversidade genética é esperada, tem sido sugerido que a elevada diversidade genética resultante de várias introduções, pode ser o fator que permite que uma espécie de se tornar invasiva (Novak & Mack, 2005). O conhecimento da estrutura genética de populações de plantas daninhas é útil para o seu manejo, porque esta variabilidade pode afetar a eficácia dos métodos de controle (Sterling *et al.*, 2004). Níveis elevados de variabilidade intraespecífica podem comprometer o sucesso das operações de controle de plantas daninhas por herbicidas, agentes biológicos ou em abordagens mecânicas (Okoli *et al.*, 1997).

A diversidade genética em espécies colonizadoras é influenciada por muitos fatores independentes, como a seleção natural, deriva genética e fluxo gênico, bem como o número de indivíduos fundadores ou quantidades reduzidas de informação genética como resultado do efeito de gargalo da população (Allendorf & Luikart, 2007). Além disso, o sistema de cruzamento pode ter um papel importante e pode, juntamente com os processos acima mencionados, de forma significativa moldar o padrão de estrutura genética da população de uma espécie (Barrett *et al.*, 2008). Estas características não são conhecidas e são importantes para o entendimento da dinâmica de invasão do capim-annoni no Brasil e a para a determinação de possíveis ferramentas de controle, como por exemplo o uso de controle biológico ou através de herbicidas seletivos.

As análises da variabilidade genética podem ser usadas para explorar a história da migração de uma espécie, incluindo colonizações recentes (Hweitt, 2008). Para as espécies invasoras, essas análises podem fornecer informações sobre a população(ões) de origem de um invasor, bem como elucidar padrões de propagação (Zhang *et al.*, 2010). Além disso, padrões filogenéticos e a distribuição da diversidade genética dentro e entre populações podem indicar a facilitação humana de propagação e, assim, auxiliar no desenvolvimento de estratégias de manejo adequadas (Ward, 2008). Existem diversos tipos de marcadores moleculares com características específicas em relação ao tipo de dominância, estabilidade, facilidade de execução e número de informações geradas. Marcadores moleculares universais correspondem a sequências nucleotídicas iniciadoras (*primers*) desenhados com base no DNA do cloroplasto (cpDNA) que é altamente conservado em praticamente todo o reino vegetal. Diferente do DNA

nuclear, que é herdado tanto do genitor materno como paterno, o cpDNA possui somente herança materna, podendo assim identificar a qual espécie a planta pertence e se o mesmo é resultado de hibridização entre espécies (Buso, 2005). Ainda, os genes que codificam as proteínas do cloroplasto evoluem a uma taxa de 0,2 a 1×10^{-9} , que é cinco vezes mais lenta do que em genes nucleares (Clegg & Zurawski, 1992).

Existem diversos estudos relacionados à análise filogenética através do uso de marcadores moleculares universais desenhados com a finalidade de amplificar as regiões intergênicas do cloroplasto. Os marcadores universais amplificam regiões não codificadoras e essas apresentam maior frequência de mutações, podendo ser usado para discriminação molecular por sequenciamento direto dos produtos amplificados (Yamaguchi *et al.*, 2005). A região do cpDNA é amplamente empregada em estudos filogenéticos (Mennan & Altop, 2012; Taberlet *et al.*, 1991; Yamaguchi *et al.*, 2005; Yasuda *et al.*, 2002) porque apresenta uma elevada distribuição dispersa de RNAs de transferência (*trns*) que apresentam elevado grau de conservação. No entanto, há a possibilidade dos marcadores moleculares plastidiais não serem suficientes para produzir filogenias bem resolvidas e confiáveis.

Uma forma de complementar as análises é a utilização de marcadores que amplifiquem regiões do DNA ribossomal nuclear (Aoki & Yamaguchi, 2008; Kita & Ito, 2000), principalmente os espaçadores de transcrito interno (ITS). Os ITS formam uma parte do genoma nuclear que contém cópias múltiplas de regiões de codificação dos genes nrDNA que estão dispostos em várias matrizes em tandem (Appels & Honeycutt, 1986). A região ITS tem sido comumente utilizada para esclarecer relações entre gêneros bem como entre espécies (Baldwin *et al.*, 1995).

2.8 Referências Bibliográficas

ABICHEQUER, A. D. *et al.* Crescimento e distribuição de raízes de capim-annoni-2 e do campo nativo: vantagem competitiva do capim-annoni-2? **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 15, n. 1, p. 7-12, 2009.

AGOSTINETTO, D. *et al.* Desempenho de formulações e doses de glyphosate em soja transgênica. **Revista Trópica**, Boa Vista, v. 3, n. 2, p. 35, 2009a.

AGOSTINETTO, D. *et al.* Respostas de cultivares de soja transgênica e controle de plantas daninhas em função de épocas de aplicação e formulações de glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 739-746, 2009b.

AGOSTINETTO, D. *et al.* Yield loss and economic thresholds of yellow nutsedge in irrigated rice in function of cultivars. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 32, n. 1, p. 588-596, 2016.

AGROFIT. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. Brasília, 2019. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso: 23 mar. 2019.

ALFAYA, H. *et al.* Efeito da amonização com uréia sobre os parâmetros de qualidade do feno do capim-annoni 2 (*Eragrostis plana* Nees). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 842-851, 2002.

ALLENDORF, F. W.; LUIKART, G. **Conservation and the genetics of populations**. Singapore: Blackwell, 2007. 624 p.

AOKI, D.; YAMAGUCHI, H. Genetic relationship between *Echinochloa crus-galli* and *Echinochloa oryzicola* accessions inferred from internal transcribed spacer and chloroplast DNA sequences. **Weed Biology and Management**, Carlton, v. 8, n. 4, p. 233-242, 2008.

APPELS, R.; HONEYCUTT, R. L. rDNA evolution over a billion years. *In*: DUTTA S. K. **DNA systematics: plants**. 2. ed. Boca Raton: CRC, 1986. p. 81-135.

ARBER, A. **The Gramineae: a study of cereal, bamboo and grass**. New York: Cambridge University Press, 2010. 506 p.

BALDWIN, B. G. *et al.* The ITS region of nuclear ribosomal DNA: a valuable source of evidence on Angiosperm phylogeny. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, Missouri, v. 82, n. 2, p. 247-277, 1995.

BARBOSA, F. G. *et al.* Predicting the current distribution and potential spread of the exotic grass *Eragrostis plana* Nees in South America and identifying a bioclimatic niche shift during invasion. **Austral Ecology**, Armidale, v. 38, n. 3, p. 260-267, 2013.

BARRETT, S. C. H. *et al.* Plant reproductive systems and evolution during biological invasions. **Molecular Ecology**, Hoboken, v. 17, n. 1, p. 373-383, 2008.

BARROSO, A. A. M. *et al.* Interação entre herbicidas inibidores da ACCase e diferentes formulações de glyphosate no controle de capim-amargoso. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 619-627, 2014.

BARROSO, A. A. M.; YAMAUTI, M. S.; ALVES, P. L. C. A. Interferência entre espécies de planta daninha e duas cultivares de feijoeiro em duas épocas de semeadura. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 609-616, 2010.

BOLDRINI, I. I. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. *In*: PILLAR, V. D. P. *et al.* (ed.). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. p. 63-77.

BOTHA, C. E. J. Plasmodesmatal distribution, structure and frequency in relation to assimilation in C3 and C4 grasses in southern Africa. **Planta**, Bonn, v. 187, n. 3, p. 348-358, 1992.

BUSO, G. S. C. **Marcadores moleculares e análise filogenética**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2005. (Documentos, 136).

BUSWELL, J. M. *et al.* Is rapid evolution common in introduced plant species? **Journal of Ecology**, London, v. 99, n. 1, p. 214-224, 2011.

CARLOTTO, S. B. *et al.* Comportamento ingestivo diurno de vacas primíparas em pastagem nativa dominada por capim-annoni-2 com suplementação protéica e mineral em diversas estações climáticas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 3, p. 454-461, 2010.

CARVALHO, P. C. F.; BATELLO, C. Access to land, livestock production and ecosystem conservation in the Brazilian Campos biome: the natural grasslands dilemma. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 120, n. 1, p. 158-162, 2009.

CLEGG, M. T.; ZURAWSKI, G. Chloroplast DNA and the study of plant phylogeny: present status and future prospects. *In*: SOLTIS, P. S.; SOLTIS, D. E.; DOYLE, J. J. **Molecular systematics of plants**. New York: Chapman & Hall, 1992. p. 1-13.

COELHO, R. W. Substâncias fitotóxicas presentes no capim-annoni-2. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 3, p. 255-263, 1986.

COSTA, A. C. R. *et al.* Action of rain on formulations of glyphosate mixed with saflufenacil for the control of *Brachiaria decumbens*. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 84, n. 1, p. 1-8, 2017.

CRAINE, J. M. *et al.* Functional traits, productivity and effects on nitrogen cycling of 33 grassland species. **Functional Ecology**, London, v. 16, n. 5, p. 563-574, 2002.

D'ANTONIO, C. M.; VITOUSEK, P. M. Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle and global change. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, Palo Alto, v. 23, n. 1, p. 63-87, 1992.

DLUGOSCH, K. M.; PARKER, I. M. Invading populations of an ornamental shrub show rapid life history evolution despite genetic bottlenecks. **Ecology Letters**, Montpellier, v. 11, n. 7, p. 701-709, 2008.

EMBRAPA. **Capim-Annoni**. 2008. Disponível em: <http://www.cpact.embrapa.br/index.php>. Acesso: 10 fev. 2016.

FAVARETTO, A. *et al.* Pattern of allelochemical distribution in leaves and roots of tough lovegrass (*Eragrostis plana* Nees.). **Australian Journal of Crop Science**, Queensland, v. 9, n. 11, p. 1119-1125, 2015.

FERREIRA, N. R. *et al.* Banco de sementes do solo de margem viária dominada por capim-annoni-2 e sujeito ao controle com distúrbios no solo e introdução de gramíneas. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 3, p. 54-63, 2008.

FERREIRA, N. R.; FILIPPI, E. E. Reflexos econômicos, sociais e ambientais da invasão biológica pelo capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) no Bioma pampa. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 27, n. 1/3, p. 47-70, 2010.

FILGUEIRAS, T. S. Africanas no Brasil: gramíneas introduzidas da África. **Caderno de Geociências**, Salvador, v. 5, n. 1, p. 57–63, 1990.

FIORENZA, M. *et al.* Análise fitoquímica e atividade alelopática de extratos de *Eragrostis plana* Nees (capim-annoni). **Iheringia**, Porto Alegre, v. 71, n. 2, p. 193-200, 2016.

FLECK, N. G. *et al.* Nível de dano econômico como critério para tomada de decisão no controle de guaxuma em soja. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 421-429, 2002.

FOCHT, T. **Ecologia e dinâmica do capim-annoni-2 (*Eragrostis plana* Nees), uma invasora dos campos sulinos: prevenção da sua expansão**. 2008. 145 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

FOCHT, T.; MEDEIROS, R. B. Prevention of natural grassland invasion by *Eragrostis plana* Nees using ecological management practices. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 41, n. 8, p. 1816-1823, 2012.

FREITAS, E. M. *et al.* Floristic diversity in areas of sandy soil grasslands in Southwestern Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 112-130, 2010.

GILBERT, B.; LEVINE J. M. Plant invasions and extinction debts. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Madison, v. 110, n. 5, p. 1744-1749, 2013.

GOULART, I. C. G. R. *et al.* Controle de capim-annoni-2 (*Eragrostis plana*) com herbicidas pré-emergentes em associação com diferentes métodos de manejo do campo nativo. **Planta daninha**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 181-190, 2009.

GOULART, I. C. G. R. *et al.* Interações entre herbicidas e protetores para o controle de capim-annoni em pastagem natural. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 10, p. 1722-1730, 2012.

GUIDO, A.; PILLAR, V. D. Invasive plant removal: assessing community impact and recovery from invasion. **Journal of Applied Ecology**, London, v. 54, n. 1, p. 1230-1237, 2017.

GUTERRES, E. P. Considerações sobre o estabelecimento de forrageiras em áreas inçadas com capimannoni-2 (*Eragrostis plana* Nees) na estação experimental zootécnica de Tupanciretã. In: REUNIÃO REGIONAL DE AVALIAÇÃO DE PESQUISA COM ANNONI-2, 1., 1991, Bagé. **Anais[...]**. Bagé: EMBRAPA-CPPSUL, 1993, p. 5-23.

HASENACK, H. *et al.* Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO DE FORRAGEIRAS E PRODUÇÃO ANIMAL, 2., 2007, Porto Alegre, **Resumos[...]**. Porto Alegre: Departamento de forrageiras e agrometeorologia, UFRGS, 2007. p. 15-21.

HOWELL, C.; SAWYER, J. W. D. **New Zealand naturalised vascular plant checklist**. Wellington: New Zealand Plant Conservation Network, 2006. 66 p.

- HUEY, R. B. *et al.* Using invasive species to study evolution. In: SAX, D.F. *et al.* **Species invasions: insights to ecology, evolution and biogeography.** Sunderland: Sinauer, 2005. p. 139-164.
- HWEITT, G. M. Speciation, hybrid zones and phylogeography - or seeing genes in space and time. **Molecular Ecology**, Hoboken, v. 10, n. 3, p. 537-549, 2008.
- JAKELAITIS, A. *et al.* Controle de *Digitaria horizontalis* pelos herbicidas glyphosate, sulfosate e glyphosate potássico submetidos a diferentes intervalos de chuva após aplicação. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 19, n. 2, p. 279-285, 2001.
- JAKELAITIS, A. *et al.* Efeitos da interferência de plantas daninhas na implantação de pastagem de *Brachiaria brizantha*. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n.1, p. 8-14, 2010.
- KALSING, A.; VIDAL, R. A. Nível crítico de dano de papuã em feijão-comum. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 843-850, 2013.
- KISSMANN, K. G.; GROTH, D. **Plantas infestantes e nocivas.** 2. ed. São Bernardo do Campo: BASF, 1999. 978 p.
- KITA, Y.; ITO, M. Nuclear ribosomal ITS sequences and phylogeny in East Asian *Aconitum* subgenus *Aconitum* (Ranunculaceae), with special reference to extensive polymorphism in individual plants. **Plant Systematics and Evolution**, Heidelberg, v. 225, n. 1-4, p. 1-13, 2000.
- LE ROUX, J. J.; WIECZOREK, A. Molecular systematics and population genetics of biological invasions: towards a better understanding of invasive species management. **Annals of Applied Biology**, Wellesbourne, v. 154, n. 1, p.1-17, 2009.
- LEE, C. E. Evolutionary genetics of invasive species. **Trends in Ecology & Evolution**, Cambridge, v. 17, n. 8, p. 386-391, 2002.
- LEVINE, J. M. *et al.* Mechanisms underlying the impacts of exotic plant invasions. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, London, v. 270, n. 1517, p. 775-781, 2003.
- LI, J. *et al.* Influence of formulation and glyphosate salt on absorption and translocation in three annual weeds. **Weed Science**, Champaign, v. 53, n. 2, p. 153-159, 2005.
- LISBOA, C. A. V. *et al.* Poder germinativo de sementes de capim-annoni-2 (*Eragrostis plana* Ness) recuperadas em fezes de bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 405-410, 2009.
- MARSHALL, E. J. P. Weeds and biodiversity. In: NAYLOR, R. E. L. (ed.). **Weed Management Handbook.** 9.ed. Oxford: Blackwell, 2002. p. 75-92.
- MEDEIROS, R. B. *et al.* Seed longevity of *Eragrostis plana* Nees buried in natural grassland soil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 43, n. 11, p. 561-567, 2014.

MEDEIROS, R. B.; FOCHT, T. Invasão, prevenção, controle e utilização do capim-annoni-2 (*Eragrostis plana* Nees) no Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 105-114, 2007.

MEDEIROS, R. et al. **A Proteção da Natureza no Brasil**: evolução e conflitos de um modelo em construção. 2005. Disponível em: <http://moodleinstitucional.ufrgs.br/mod/resource/view.php?id=124926>. Acesso: 25 jan. 2016

MENNAN, H.; KAYA-ALTOP, E. Molecular techniques for discrimination of late watergrass (*Echinochloa oryzicola*) and early watergrass (*Echinochloa oryzoides*) species in turkish rice production. **Weed Science**, Champaign, v. 60, n. 4, p. 525-530, 2012.

MOLIN, W. T.; HIRASE, K. Comparison of commercial glyphosate formulations for control of prickly sida, purple nutsedge, morningglory and sicklepod. **Weed Biology and Management**, Carlton, v. 4, n. 1, p. 136-141, 2004.

MOLIN, W. T.; HIRASE, K. Effects of surfactants and simulated rainfall on the efficacy of the engane formulation of glyphosate in Johnson grass, prickly sida and yellow nutsedge. **Weed Biology and Management**, Carlton, v. 5, p. 123-127, 2005.

MOLIN, W.; VAUGHN, K.; HIRASE, K. Comparison of the efficacy and cuticular wax perturbations resulting from Engame and Roundup Ultramax formulations of glyphosate. *In*: MEETING OF THE WEED SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, 2003, Jacksonville. **Abstract**[...]. Jacksonville: Weed Science Society of America.

MUELLER, T. C. *et al.* Comparison of glyphosate salts (Isopropylamine, Diammonium, and Potassium) and calcium and magnesium concentrations on the control of various weeds. **Weed Technology**, Champaign, v. 20, n. 1, p. 164-171, 2006.

NASCIMENTO, A.; HALL, G. A. B. Estudos comparativos de capim-annoni 2 (*Eragrostis plana*) e pastagem nativa de várzea da região de Santa Maria, Rio Grande do Sul. 1. Características químico-bromatológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 13, n. 2, p. 7-14, 1978.

NORDBY, D. E.; HAGER, A. G. Herbicide formulations and calculations: active ingredient or acid equivalent, a weed fact sheet. *In*: **Integrated Pest Management Handbook**. Champaign: University of Illinois, 2011. 3 p.

NOVAK, S. J.; MACK, R. N. Genetic bottlenecks in alien plant species influence of mating systems and introduction dynamics. *In*: SAX, D. F. *et al.* **Species invasions: insights into ecology, evolution, and biogeography**. Sinauer: Sunderland, 2005. p. 201-228.

OKOLI, C. *et al.* Genetic diversity in purple nutsedge (*Cyperus rotundus* L.) and yellow nutsedge (*Cyperus esculentus* L.). **Biological Control**, Sophia Antipolis, v. 8, n. 4, p. 111-118, 1997.

OLIVEIRA, O. L. P. Considerações sobre o capim-annoni-2 (*Eragrostis plana* Nees). Histórico e evolução no CNPO. *In*: REUNIÃO REGIONAL DE AVALIAÇÃO

DE PESQUISA COM ANNONI-2, 1991, Bagé. **Anais[...]**. Bagé: EMBRAPA-CPPSUL, 1993. p. 5-23. (EMBRAPA-CPPSUL Documentos, 7).

OLIVEIRA, R. *et al.* Influence of the glyphosate formulations on wettability and evaporation time of droplets on different targets. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 599-606, 2015.

PARKER, I. M. *et al.* An evolutionary approach to understanding the biology of invasions: local adaptation and general-purpose genotypes in the weed *Verbascum thapsus*. **Conservation Biology**, Washington, v. 17, n. 1, p. 59-72, 2003.

PARREIRA, M. C. *et al.* Comparação entre métodos para determinar o período anterior à interferência de plantas daninhas em feijoeiros com distintos tipos de hábitos de crescimento. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 727-38, 2014.

PEREZ, N. B. **Campo Limpo: controle de planta indesejáveis em pastagens**. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2010. 10 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/68020/1/CL-Ago-2010.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2018.

PEREZ, N. B. **Método integrado de recuperação de pastagens MIRAPASTO: foco capim-annoni**. Brasília: Embrapa, 2015. 24p.

PIANKA, E. R. On *r*- and *K*-selection. **The American Naturalist**, Chicago, v. 104, n. 1, p. 592- 597, 1970.

PIMENTEL, D. Introduction: nonnative species in the world. *In*: PIMENTEL, D. (ed.). **Biological invasions: economic and environmental costs of alien plant, animal, and microbe species**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2011. p. 430.

PIOLA, L. *et al.* Comparative toxicity of two glyphosate-based formulations to *Eisenia andrei* under laboratory conditions. **Chemosphere**, Amsterdam, v. 91, n. 4, p. 545-551, 2013.

PIVELLO, V. R. *et al.* Alien grasses in Brazilian savannas: a threat to the biodiversity. **Biodiversity and Conservation**, Heidelberg, v. 8, n. 9, p.1281-1294, 1999.

PRUDENTE, R. M.; MATUO, T. Aplicador de herbicidas com pavios de corda: primeiros resultados de controle. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 8, n. 1-2, p. 37-44, 1985

REIS, J. C. L. Capim-annoni-2: origem, morfologia, características, disseminação. *In*: REUNIÃO REGIONAL DE AVALIAÇÃO DE PESQUISA COM ANNONI-2, 1991, Bagé. **Anais[...]**. Bagé: EMBRAPA-CPPSUL, 1993. p. 5-23. (EMBRAPA-CPPSUL Documentos, 7).

REIS, J. C. L.; COELHO, R. W. **Controle do capim-annoni-2 em campos naturais e pastagens**. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 2000. 21 p. (EMBRAPA Clima Temperado. Circular Técnica, 22).

- RICHARDSON, R. J. *et al.* Responses of selected weeds and glyphosate-resistant cotton and soybean to two glyphosate salts. **Weed Technology**, Champaign, v. 17, n. 3, p. 560-564, 2003.
- ROSENTHAL, D. M. Evidence for multiple sources of invasion and intraspecific hybridization in *Brachypodium sylvaticum* (Hudson) Beauv. in North America. **Molecular Ecology**, Hoboken, v. 17, n. 21, p. 4657-4669, 2008.
- RYVES, T. B.; CLEMENT, E. J.; FOSTER, M. C. **Alien grasses of the british isles**: a provisional catalogue. London: Botanical Society of the British Isles, 1996. 236 p.
- SATCHIVI, N. M. *et al.* Absorption and translocation of glyphosate isopropylamine and trimethylsulfonium in *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi*. **Weed Science**, Champaign, v. 48, n. 1, p. 675-679, 2000.
- SCHAAL, B. A. *et al.* Invitational Lecture. Phylogeography, haplotype trees, and invasive plant species. **Journal of Heredity**, Oxford, v. 94, n. 3, p. 197-204, 2003.
- SCHEFFER-BASSO, S. M. *et al.* Growth and regrowth of tough lovegrass (*Eragrostis plana* Nees). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 41, n. 2, p. 286-291, 2012.
- SCHEFFER-BASSO, S. M.; CECCHIN, K.; FAVARETTO, A. Dynamic of dominance, growth and bromatology of *Eragrostis plana* Nees in secondary vegetation area. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 47, n. 3, p. 582-588, 2016.
- SCHERNER, A. *et al.* Suscetibilidade de duas gramas-boiadeiras a diferentes formulações de glyphosate. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 3, p. 400-406, 2014.
- SIEBEN, E. J. J. *et al.* Changes in plant form and function across altitudinal and wetness gradients in the wetlands of the Maloti-Drakensberg, South Africa. **Plant Ecology**, Perth, v. 207, n. 1, p. 107-119, 2010.
- SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Editora UFV, 2007. 357 p.
- STERLING, T. M. *et al.* Implications of invasive plant variation for weed management. **Weed Technology**, Champaign, v. 18, n. 1, p. 1319-1324, 2004.
- TABERLET, P. *et al.* Universal *primers* for amplification of three non-coding regions of chloroplast DNA. **Plant Molecular Biology**, Yokohama, v. 17, n. 5, p. 1105-1109, 1991.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 5. ed. Massachusetts: Sinauer Associates, 2010. 782 p.
- TRAVLOS, I.; CHEIMONA, N.; BILALIS, D. Glyphosate efficacy of different salt formulations and adjuvant additives on various weeds. **Agronomy**, Madison, v. 7, n. 1, p. 60-69, 2017.

USDA. **Germplasm resources information network - online database**. 2015. Disponível em: <http://www.ars-grin.gov.4/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?15323>. Acesso em: 22 jan. 2019.

VALERIA, M.; SANTIAGO, C. C4 plants adaptation to high levels of CO₂ and to drought environments. In: SHANKER, A. (Ed.). **Abiotic stress in plants: mechanisms and adaptations**. Rijeka: InTech, 2011. p. 415-428.

VERLOOVE, F. **Catalogue of neophytes in Belgium (1800-2005)**. Meise: National Botanic Garden of Belgium, 2006. 89 p.

VIDAL, R. A. *et al.* Nível de dano econômico de *Brachiaria plantaginea* na cultura de milho irrigado. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 63-69, 2004.

WARD, S. M. *et al.* Ecological genetics of plant invasion: what do we know? **Invasive Plant Science and Management**, Cambridge, v. 1, n. 1, p. 98-109, 2008.

WILLIAMS, D. G.; BARUCH, Z. African grass invasion in the Americas: ecosystem consequences and the role of ecophysiology. **Biological Invasions**, Knoxville, v. 2, n. 2, p. 123-140, 2000.

YAMAGUCHI, H. *et al.* A molecular phylogeny of wild and cultivated *Echinochloa* in East Asia inferred from non-coding region sequences of trnT-L-F. **Weed Biology and Management**, Carlton, v. 5, n. 4, p. 210-218, 2005.

YASUDA, K. *et al.* Molecular identification of *Echinochloa oryzicola* Vasing. and *E. crusgalli* (L.) Beauv. using a polymerase chain reaction–restriction fragment length polymorphism technique. **Weed Biology and Management**, Carlton, v. 2, n. 1, p. 11-17, 2002.

ZHANG, Y. Y. *et al.* Genetic uniformity characterizes the invasive spread of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), a clonal aquatic plant. **Molecular Ecology**, Hoboken, v. 19, n. 9, p. 1774-1786, 2010.

3 CAPÍTULO 1

**Interferência e nível de dano econômico de capim-annoni em três sistemas
de pastagem**

RESUMO

O conhecimento da capacidade de interferência de plantas daninhas sobre as culturas é fundamental na tomada de decisão para realização do controle. O nível de dano econômico indica a densidade de plantas daninhas cujas interferências sobre a cultura justificam o custo de seu controle. Os objetivos deste trabalho foram avaliar a capacidade de interferência e o nível de dano econômico de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) em três sistemas de cultivo e em diferentes épocas de crescimento das pastagens. Três experimentos foram conduzidos na Estação Experimental Agronômica da UFRGS, em Eldorado do Sul/RS com sistema de cultivo: pastagem natural, pastagem natural melhorada e brachiária Mulatto II (híbrido de *Brachiaria ruziziensis* × *Brachiaria brizantha* cv. Marandu). Dentro de cada área foram selecionadas parcelas com os níveis de infestação (cobertura do solo) de capim-annoni de zero, 20, 40, 60, 80 e 95%. Foram realizadas avaliações de massa de matéria seca do estrato inferior nos meses de dezembro de 2015, fevereiro, agosto e dezembro de 2016, fevereiro e setembro de 2017 e fevereiro de 2018. Posteriormente foram calculadas a redução na produtividade do estrato inferior em relação à testemunha (%), produtividade de pastagem (Kg ha^{-1}), nível crítico de dano (NCD) e o nível de dano econômico (NDE). No geral, observou-se que infestações de touceiras de capim-annoni de até 20% de cobertura, podem reduzir a produtividade de pastagem de 20 a 50%. Em infestações de capimannoni acima de 60%, a redução da produtividade de pastagem pode chegar a 80%, independente do sistema de pastagem adotado. Áreas de pastagens cultivadas com brachiária são mais competitivas com o capim-annoni quando comparadas a áreas de pastagem natural e pastagem natural melhorada em infestações inferiores a 40%. O valor de nível de dano econômico do capim-annoni em diferentes sistemas de cultivos de pastagem é relativamente baixo e pouco variável entre os sistemas, justificando a adoção de medidas de controle a partir de 8% de infestação por touceiras de capim-annoni.

3.1 Introdução

Um dos principais fatores que influencia o crescimento, desenvolvimento e produtividade das pastagens é interferência causada por plantas daninhas (Silva & Silva, 2007). A competição direta e indireta por água, luz e nutrientes reduz qualitativamente e quantitativamente o rendimento forrageiro, refletindo diretamente nos ganhos de rendimento do rebanho (Jakelaitis *et al.*, 2010). Nas áreas de pastagem nativa na região Sul do Brasil (Freitas *et al.*, 2010), o capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) é a principal planta daninha (Carvalho & Batello, 2009). Nessas áreas, localizam-se os campos de pecuária de corte do Rio Grande do Sul e os remanescentes da vegetação campestre típica do Bioma Pampa (Hasenack *et al.*, 2007), os quais vem sendo anualmente reduzidos devido a expansão dessa invasora.

O capim-annoni foi acidentalmente introduzido no estado do RS no início da década de 1950 (Medeiros *et al.*, 2009). Propágulos da espécie foram trazidos como contaminantes em sementes de capim-chorão (*Eragrostis curvula*) e capim de Rhodes (*Chloris gayana* Kunth) introduzidos da África do Sul, como novas espécies forrageiras (Medeiros & Focht, 2007). Devido à tolerância ao pisoteio, geada e seca, sementes de capim-annoni passaram a ser multiplicadas e comercializadas a partir da década de 1970, com o nome de capim-annoni-2 (Medeiros & Focht, 2007). No entanto, poucos anos após o início da disseminação como forrageira observou-se que a espécie apresentava baixa qualidade nutricional, baixa palatabilidade e provocava o desgaste acelerado dos dentes dos animais (Reis & Coelho, 2000; Ferreira, 2011; Quattrocchi, 2012), que culminam com a diminuição na produção pecuária.

A invasão do capim-annoni se tornou um fenômeno de larga escala geográfica. A espécie se propagou rapidamente por todo o estado do RS, e, atualmente ocorre em vários outros estados do Brasil (Medeiros & Focht, 2007), além de países do Mercosul, como Argentina e Uruguai. Estimativas indicavam que dois milhões de hectares dessa região já estavam comprometidos com a presença de capim-annoni em 2004 (Medeiros *et al.*, 2004). Todavia, após 15 anos com poucos avanços em métodos de controle e sem um programa de prevenção da dispersão eficiente, a área atual infestada tende a ter sido expandida. Estima-se que a espécie tenha taxas de expansão anuais de 14.000 ha (Ziller, 2005). O avanço da invasão do capim-annoni está relacionado a sua prolificidade aliada a

elevada viabilidade e grande poder de disseminação de suas sementes, além de possuir mecanismos de defesa e preservação bem desenvolvidos, tais como elevada competitividade por água, luz e nutrientes, e baixo consumo pelos animais (Reis & Coelho, 2000). Além disso, modelos bioclimáticos utilizados para prever a distribuição potencial de espécies invasoras, demonstraram que a maior parte do sul da América do Sul apresenta condições climáticas ótimas para o desenvolvimento dessa espécie (Barbosa *et al.*, 2013).

O capim-annoni apresenta elevada competitividade de crescimento em relação ao campo nativo (Medeiros & Focht, 2007). Esta vantagem pode ser determinada, entre outros fatores, pela presença de um sistema radical ramificado, grosso, profundo e muito desenvolvido (Reis & Coelho, 2000; *Ferreira et al.*, 2008; Carlotto *et al.*, 2010), que proporciona maior absorção de nutrientes e acesso à umidade do solo pelo capim-annoni. Gramíneas com baixo teor de N no tecido e com hábito cespitoso, como o capim-annoni, apresentam maior sistema radical e maior relação raiz/parte aérea do que as com alto teor de N (espécies rizomatosas e estoloníferas), sendo mais competitivas do que as de alto teor de N em solos pobres no nutriente (Craine *et al.*, 2002; Medeiros & Focht, 2007).

Os danos econômicos oriundos da disseminação das plantas exóticas invasoras são bastante significativos. Embora o custo monetário possa ser estimado, é praticamente impossível valorar as perdas decorrentes do impacto ambiental. No estado do RS as perdas com o capim-annoni, em um período de dez anos (1996 a 2006), foram estimadas em US\$ 88 milhões levando em consideração somente a falta de produção das áreas invadidas, estimadas em 20% do estado do RS (Embrapa, 2008; Focht & Medeiros, 2012). No entanto, trabalhos que indiquem o real potencial de interferência do capim-annoni na pastagem e na produtividade dos campos são inexistentes.

O conhecimento da capacidade de interferência de plantas daninhas sobre as culturas é fundamental na tomada de decisão para realização do controle. No entanto, somente considerando o nível de dano econômico (NDE) da planta daninha será possível determinar a densidade dessas cujas interferências sobre a cultura justifique o custo de seu controle (Vidal *et al.*, 2004). O NDE permite ao produtor aplicar herbicidas com ação em pós-emergência somente quando for lucrativa a decisão para controle de plantas daninhas em áreas agrícolas (Vidal *et al.*, 2010). Para isso, além da capacidade de interferência da espécie daninha,

deve-se levar em consideração o preço do produto colhido, o custo do controle e o rendimento estimado da cultura. O NDE é um conceito simples que integra fatores biológicos e econômicos que se destina a tornar os resultados de uma tomada de decisão lucrativos para o controle das plantas daninhas (Fleck *et al.*, 2002; O'Donovan *et al.*, 2005).

A aplicação do NDE, no Brasil, é uma prática muito difundida na tomada de decisão para controle de pragas e doenças em plantas (Vidal *et al.*, 2004). Entretanto, a aplicação do NDE na área de plantas daninhas ainda é pouco realizada, em razão da imprevisibilidade das variáveis biológicas e econômicas (Kalsing & Vidal, 2013). Na prática, o valor dessa variável acaba sendo apenas estimado, tendo como base o histórico de produtividade da área cultivada ou a meta de rendimento para a qual as áreas são manejadas. A adoção do NDE como critério para controle de plantas daninhas em pastagens, é ainda mais incipiente, limitando a adoção de medidas racionais de controle com base em tecnologias que possuam base científica. Os conhecimentos relacionados ao NDE e aos períodos críticos de competição representam a base do manejo integrado de plantas daninhas. Os objetivos deste trabalho são avaliar a capacidade de interferência e o nível de dano econômico de capim-annoni em três sistemas de cultivo e em diferentes épocas de crescimento das pastagens.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Descrição dos experimentos

Três experimentos foram conduzidos a campo, na Estação Experimental Agronômica da UFRGS em Eldorado do Sul/RS, em áreas com infestação natural de *E. plana* entre agosto de 2015 e fevereiro de 2018. Cada experimento foi conduzido sob delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. As unidades experimentais tinham dimensões de 1 x 2 m, totalizando dois metros quadrados de área útil. Os níveis de infestação de capim-annoni (% de cobertura do solo) foram de 0, 20, 40, 60, 80 e 95%, sendo sua determinação inicial baseada na escolha visual e com posterior aferição através da contagem e mensuração do diâmetro médio das touceiras em cada parcela. As parcelas foram distribuídas aleatoriamente dentro de cada área de acordo com o nível de infestação.

3.2.2 Caracterização das áreas experimentais

Cada experimento foi conduzido em uma área de pastagem infestada por capim-annoni, com diferentes características. As coordenadas geográficas das áreas são: pastagem natural - 30°05'51.4"S 51°40'41.9"W; pastagem natural melhorada - 30°06'07.7"S 51°40'26.6"W e Brachiária Mulatto II - 30°06'21.7"S 51°40'32.9"W. O clima é subtropical úmido (classificação Cfa, Köppen), com precipitação anual de 1440 mm, bem distribuídos ao longo do ano; junho é o mês mais chuvoso (168,2 mm) e dezembro é o mais seco (97,7 mm).

A primeira área estudada (denominada de pastagem natural) apresentava infestação de capim-annoni com touceiras bem desenvolvidas (com grande parte das touceiras com diâmetro entre 25 e 40 cm) infestando campo nativo com estrato inferior composto por *Axonopus affinis*, *Cynodon dactylon*, *Paspalum nicorae*, *Paspalum notatum*, *Desmodium incanum*, *Andropogon lateralis*, *Coelorachis selloana* e *Eleocharis viridans*.

A segunda área (denominada de pastagem natural melhorada) era de pastagem natural/campo nativo cultivado durante os meses de inverno com semeadura de *Lolium multiflorum* e *Avena strigosa* seguida de gradagem leve. As culturas de inverno utilizadas haviam sido semeadas em junho de 2015, anteriormente ao isolamento e início das avaliações na área. As touceiras de capim-annoni eram mais jovens que a primeira área, tendo diâmetro variando de 15 a 45 cm. Além das espécies semeadas, o estrato inferior era semelhante ao da primeira área com moderada infestação de *Cynodon dactylon*.

A terceira área (denominada de brachiária) apresentava infestação de capim-annoni com touceiras entre 5 e 30 cm de diâmetro. O estrato inferior foi composto por pastagem de Brachiaria híbrida cv. MULATO II (CIAT 36087), resultado do cruzamento entre *Brachiaria ruziziensis* e *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk (Argel *et al.*, 2007).

3.2.3 Avaliações

As avaliações foram realizadas nos meses de dezembro de 2015, fevereiro, agosto e dezembro de 2016, fevereiro e setembro de 2017 e fevereiro de 2018. Para a terceira área (braquiária) foram realizadas somente as duas primeiras e a última avaliação de massa seca do estrato inferior. Isso foi necessário devido a supressão tanto das touceiras de brachiária e de capim-annoni pela grande massa

de brachiária acumulada após a roçada em área total realizada em dezembro de 2016. A regeneração das touceiras e do estrato inferior foi realizada através de roçadas periódicas (10 cm de altura de corte a cada 4 meses) até o reestabelecimento da competição entre as espécies.

Em cada avaliação, foram coletadas duas sub-amostras de 0,25 x 0,25m (0,0625m²) do estrato inferior em cada parcela, com corte rente ao solo (\pm 5 cm). As amostras foram secas em estufa de circulação de ar a 60°C e pesadas para obtenção da massa de matéria seca do estrato inferior. Após cada coleta, toda a área onde as parcelas estavam alocadas foi roçada mecanicamente (10 cm de altura de corte). As parcelas que apresentavam porcentagem de cobertura de capim-annoni alterada ao longo do tempo eram substituídas por novas parcelas que atendessem ao valor de cobertura desejado.

3.2.4 Análise dos dados

Os valores de massa de matéria seca de estrato inferior foram utilizados para calcular as produtividades de estrato inferior para cada condição de infestação em cada área. Os dados obtidos da soma das amostras coletadas em cada parcela foram extrapolados para uma área de 10000 m², obtendo-se um valor de produtividade de estrato inferior em Kg ha⁻¹ de MS. Os dados de massa de matéria seca de estrato inferior foram inicialmente analisados quanto a normalidade dos resíduos de acordo com o teste de Shapiro-Wilk e quanto a homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett ($p \leq 0.05$). Posteriormente foram submetidos à análise da variância pelo teste F. Quando significativo ($p < 0,05$), procedeu-se à análise de regressão entre a variável independente (porcentagem de cobertura de touceiras) e produtividade de estrato inferior, ajustando-se o modelo sigmoide logístico de três parâmetros (Equação 1).

$$Y = A / (1 + (X / B)^c) \quad (\text{eq.1})$$

em que y = produtividade do estrato inferior; A = que é a diferença entre as duas assíntotas, correspondente à resposta da produtividade na testemunha sem infestação de capim-annoni; B = é o ponto de inflexão da curva, que corresponde a porcentagem de cobertura que reduz em 50% a produtividade (P_{50}) e; c = descreve o declive da curva em torno do P_{50} .

A partir dos valores da massa de matéria seca de estrato inferior, também foram calculadas as perdas percentuais em relação às parcelas livres de infestação de capim-annoni, de acordo com a equação 2.

$$Y (\%) = [(Y_a - Y_b) / Y_a] * 100 \text{ (eq.2)}$$

em que y = redução da produtividade do estrato inferior; Y_a = produtividade do estrato inferior na testemunha não infestada; Y_b = produtividade do estrato inferior na presença de infestação de capim-annoni.

Os dados obtidos foram submetidos à análise da variância pelo teste F em cada experimento em esquema de parcela subdividida, nos quais as porcentagens de cobertura foram consideradas como parcelas e as sete coletas consideradas como sub-parcelas, a fim de analisar se houve diferenciação de resposta entre as coletas. Quando significativo ($p < 0,05$), as análises foram complementadas por teste de comparação de médias Scott-Knott ($p < 0,05$) para os fatores qualitativos ou procedeu-se à análise de regressão entre a variável independente (porcentagem de cobertura de touceiras) e as redução da produtividade de estrato inferior, ajustando-se o modelo de hipérbole retangular de dois parâmetros (Equação 3), proposto por Cousens (1985):

$$y = (i * d) / (1 + (i / A) * d) \text{ (eq. 3)}$$

em que y = porcentagem de perda de produtividade do estrato inferior em relação à testemunha não infestada; i = nível crítico de dano, isto é, perda percentual no rendimento devido ao efeito de 1% de infestação; A = assíntota máxima (ou perda de rendimento quando a densidade da infestante está próxima da capacidade de suporte do meio)(quando o valor de A excedeu 100%, o valor de A foi fixado em 100); d = densidade da infestante (variável independente).

O valor de “ i ” obtido na equação 3 foi utilizado como parâmetro para determinar o Nível crítico de Dano (NCD). O NCD, em experimentos de culturas anuais, representa a perda de rendimento devido ao efeito de cada de cada planta, individualmente (valor da tangente à hipérbole na densidade 0). No entanto, no presente trabalho, o NCD foi adaptado e passou a representar a redução percentual da produtividade para cada 1% de cobertura por touceiras de capim-annoni.

Para estimar o nível de dano econômico (NDE) do capim-annoni, foi utilizada a Equação 4:

$$NDE = CC / (ER * VP * ((D_{50} / A) / 100) * (EH / 100)) \text{ (eq.4)}$$

em que CC = custo de controle (R\$ ha⁻¹); ER = estimativa de produtividade de massa seca do estrato inferior livre de infestação (kg ha⁻¹); VP = valor da produtividade da pastagem [(1/Conversão alimentar) * R\$ kg⁻¹ de carne]; A = intercepção no eixo y; D₅₀ = a declividade do primeiro segmento das curvas de densidade (D₅₀: A/i) e EH = eficiência do herbicida (%) (Vidal *et al.*, 2004).

Para determinação do NDE, foram considerados quatro parâmetros como referência: custo do controle do capim-annoni (R\$ ha⁻¹), produtividade da pastagem livre de infestação (kg ha⁻¹), conversão alimentar (Kg kg⁻¹) e eficiência do herbicida (%). Para os parâmetros custo de controle e conversão alimentar foram calculadas três variações, que correspondem aos valores mínimo, médio e máximo: custo de controle (R\$ 200, 300, 400 por ha⁻¹); conversão alimentar (15, 20 e 25 kg de massa de matéria seca de pastagem para 1 Kg de peso vivo). Para produtividade da pastagem utilizou-se os dados da produtividade das parcelas livres de infestação em cada coleta (Kg ha⁻¹ de matéria seca). Os valores de referência de conversão alimentar foram adaptados de Maraschin (1998). A eficiência de controle considerada foi de 90%. O preço do peso vivo de boi gordo considerado foi de 5,00 (R\$ Kg⁻¹) baseado no histórico dos últimos cinco anos (2013 a 2018) obtidos dos boletins divulgados pela instituição NESPRO/UFRGS (NESPRO, 2019) sendo que os valores variaram de 4,20 a 6,00 (R\$ Kg⁻¹). Para a variável custo de controle foi considerado o valor para aplicação de 8 L ha⁻¹ de Roundup Original DI ao custo médio de 20 R\$ L⁻¹, acrescido de R\$ 40,00 de custo operacional (Piacentini *et al.*, 2012). Para este último parâmetro, o valor mínimo considerado (200 R\$ ha⁻¹), corresponderia a uma aplicação e o valor máximo (400 R\$ ha⁻¹) corresponderia a duas aplicações do herbicida por meio do aplicador seletivo Campo Limpo[®] durante a estação de cultivo.

Os valores de NDE não serão apresentados para todas as coletas e áreas descritas acima. Com base nos dados de comparação das áreas e nos valores de erro padrão obtidos a partir das curvas de regressão, foram selecionadas as três coletas mais contrastantes. Assim, consegue-se estabelecer uma faixa de valores de NDE capaz de representar uma ampla gama de situações. Os valores de NDE para as coletas que não foram expostas situavam-se dentro dos extremos de NDE apresentados. Os softwares SAS, pacote ExpDes do R (Ferreira *et al.*, 2018) e SigmaPlot 14.0 foram utilizados para as análises estatísticas e confecção de gráficos.

3.3 Resultados

3.3.1 Redução da produtividade do estrato inferior

A avaliação de estimativa de cobertura por touceiras de capim-annoni em cada parcela demonstrou que as porcentagens estavam de acordo com as porcentagens de cobertura de capim annoni em cada tratamento (Tabela 1). Para compor as porcentagens de infestação desejadas, as parcelas apresentavam touceiras de tamanho variado, com 4,5 a 9 touceiras de capim-annoni por m² e diâmetro médio variando de 21 a 40 cm.

TABELA 1. Número e diâmetro médio das touceiras e cobertura de solo por touceiras de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) determinada por meio da contagem e mensuração do diâmetro das touceiras em cada parcela. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2016.

Nível de infestação (%)	Número médio touceiras/parcela			Diâmetro médio das touceiras (cm)			Cobertura da parcela (%)		
	PN*	PNM	BM	PN	PNM	BM	PN	PNM	BM
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	9	10	8,25	22,7	21,0	23,0	19,3	19,6	19,8
40	10,5	11,5	10,75	28,9	28,2	29,1	38,8	38,8	39,4
60	11,25	12,75	10,75	33,7	32,9	35,37	58,5	61,1	59,1
80	12	13	11,5	38,9	37,8	40,32	78,2	79,6	80,6
95	15	17	14	38,6	35,64	39,83	93,1	94,7	95,8
Média	11,6	12,9	11,1	32,6	31,1	33,5	53,6	55,4	55,3

*PN: Pastagem natural; PNM: Pastagem natural melhorada; BM: Brachiária Mulatto II.

A produtividade de massa seca (MS) do estrato inferior foi afetada pela infestação de capim-annoni nas áreas de pastagem natural (Tabela 2) e pastagem natural melhorada (Tabela 3) e foi similar para a área de brachiária. A análise dos dados de redução produtividade estrato inferior apresentou significância para os valores de F para as densidades de cobertura e entre as coletas nas áreas de pastagem natural e pastagem natural melhorada. Para a área com brachiária, não houve significância pelo teste F para análise entre as coletas, indicando que as três avaliações realizadas nessa condição apresentaram resultados semelhantes. Para produtividade do estrato inferior, houve significância pelo teste F para as porcentagens de cobertura e para as coletas em todas as três áreas. As regressões de redução da produtividade do estrato inferior ajustaram-se satisfatoriamente ao modelo de regressão da hipérbole retangular com valores de R² superiores a 0,8 e valores reduzidos de quadrado médio do resíduo, o que caracteriza um elevado

ajuste dos dados para o modelo. Para todos os experimentos com o aumento da porcentagem de cobertura de touceiras de capim-annoni houve decréscimo da produtividade do estrato inferior. Ocorreram reduções significativas da produtividade de estrato inferior, a partir da menor porcentagem de infestação de capim-annoni (20%) em todas as amostragens realizadas para todas as áreas de estudo (Figuras 1, 2 e 3).

O capim-annoni reduziu em 40% a produtividade do estrato inferior em áreas de pastagem natural e pastagem natural melhorada, mesmo com apenas 20% da área coberta com touceiras, na coleta realizada em dezembro de 2015 (Figura 1A). Para a área cultivada com brachiária, a redução da produtividade foi aproximadamente 25%, nessa condição, demonstrando melhor potencial competidor com a planta daninha. A diferenciação na produtividade entre as áreas foi observada até o nível de 60% de cobertura por touceiras de capim-annoni. No entanto, a redução da produtividade do estrato inferior apresentou decréscimos significativos até a condição de 95% de infestação das áreas. Para as condições de 40 e 60% de infestação, a área cultivada com brachiaria produziu entre 10% e 15% a mais de estrato inferior quando comparadas as áreas de pastagem natural (Figura 1B). A partir de 60% de cobertura de touceiras de capim-annoni não há diferenciação entre as áreas, atingindo aproximadamente 80% de redução da produtividade em áreas com 95% de infestação (Figura 1A).

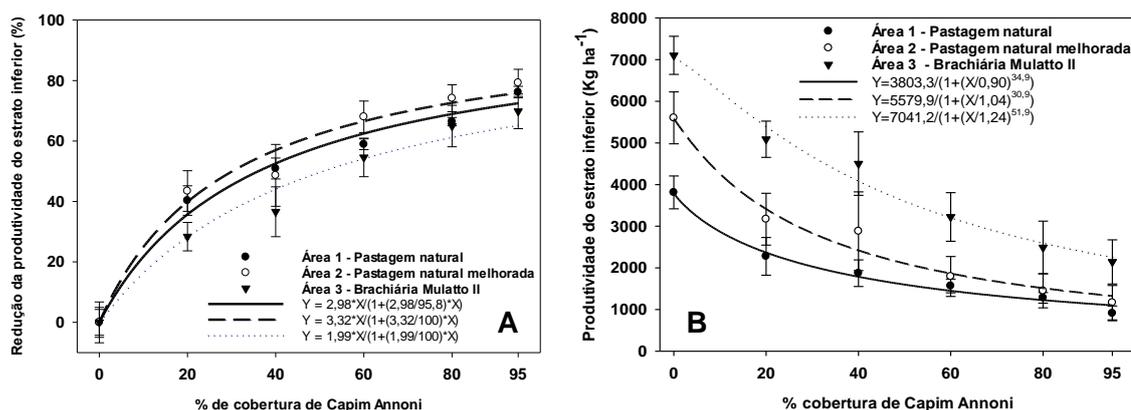


FIGURA 1. Redução da produtividade de massa seca do estrato inferior em relação à testemunha sem infestação de capim-annoni (A) e produtividade da pastagem (B) em função da porcentagem de cobertura de capim-annoni em três tipos de pastagem na avaliação realizada em dezembro/2015. Barras verticais representam o intervalo de confiança (95%). UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019.

Embora a produtividade de MS do estrato inferior das áreas tenha sido significativamente diferente (Figura 1B), para a maioria das condições de infestação, a redução percentual da produtividade foi semelhante (Figura 1A). A produtividade do estrato inferior diferiu significativamente entre as áreas principalmente na condição livre de infestação de capim-annoni atingindo 7000 Kg ha⁻¹ para a área cultivada com a brachiária, em torno de 5500 Kg ha⁻¹ para a pastagem natural melhorada, enquanto o campo nativo produziu pouco mais de 3500 Kg ha⁻¹. Já na pior condição analisada, com 95% de cobertura de touceiras de capim-annoni, as áreas de pastagem conseguiram produzir em torno de 1000 Kg ha⁻¹ de matéria seca, enquanto a área de brachiária produziu em torno de 2000 Kg ha⁻¹, evidenciando novamente o seu maior potencial competitivo com a planta daninha invasora.

A redução da massa seca do estrato inferior da coleta realizada em março de 2016 (Figura 2A; Tabela 2) diferiu do que havia sido observado na coleta realizada em dezembro de 2015 (Figura 1A). No geral, para as áreas de pastagem natural e pastagem natural melhorada, o impacto do capim-annoni foi maior na primeira avaliação (Tabela 2 e 3). Para a área de brachiária, não houve diferença entre todas as avaliações realizadas. A área de pastagem natural melhorada e a área cultivada com brachiária apresentaram melhor competitividade com o capim-annoni até infestações de 40% da área, não se diferenciando a partir de então (Figura 2A). Para as condições de 20 e 40% de cobertura de solo por touceiras de capim-annoni, a área conduzida com pastagem natural foi a que mais sofreu com a interferência causada pela invasora atingindo aproximadamente 50% de redução da produtividade do estrato inferior para a pior condição.

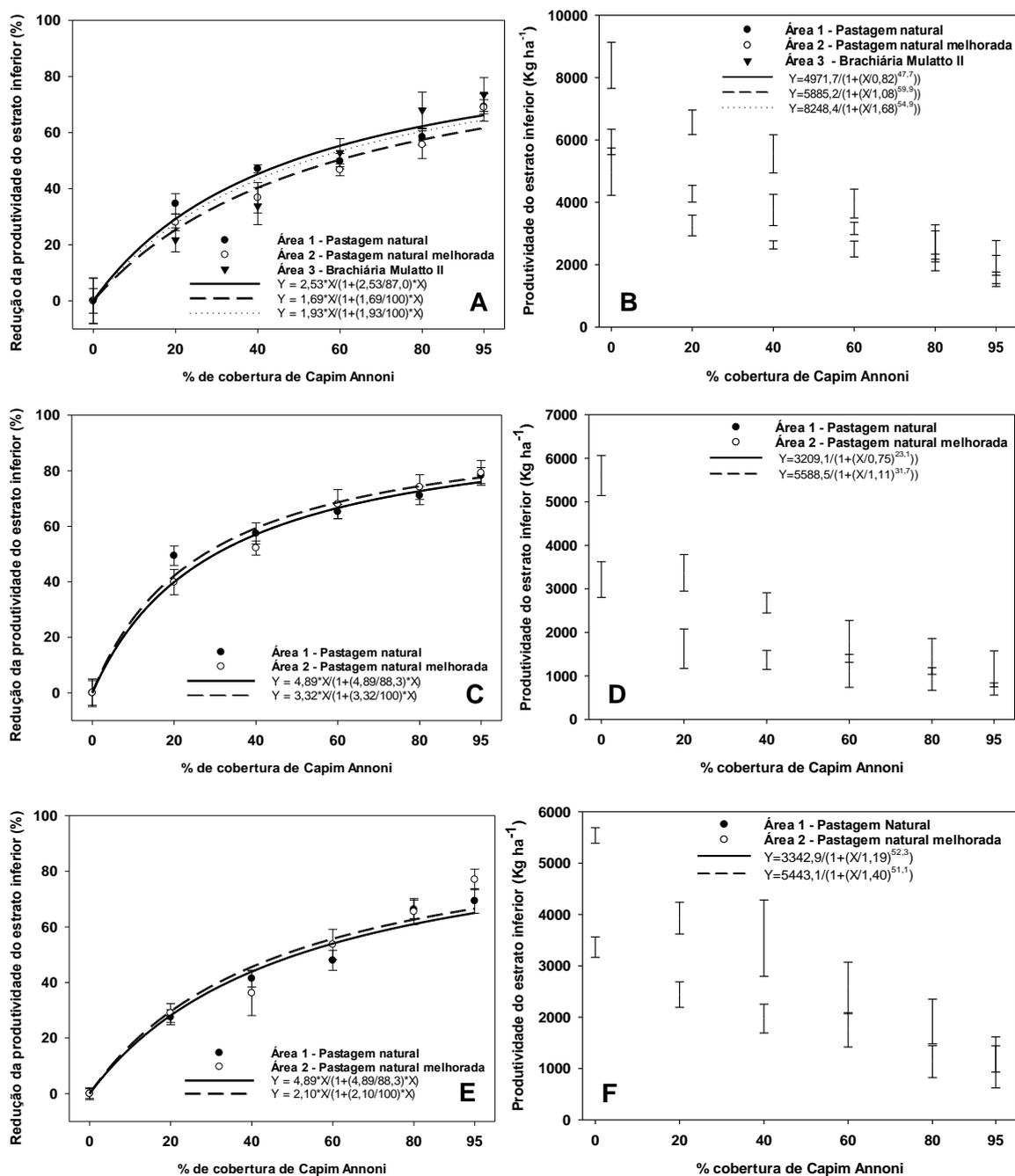


FIGURA 2. Redução da produtividade de massa seca do estrato inferior em relação à testemunha (sem infestação de capim-annoni) e produtividade do estrato inferior em função da porcentagem de cobertura de capim-annoni em três tipos de pastagem em março (A e B), agosto (C e D) e dezembro (E e F) de 2016. Barras verticais representam o intervalo de confiança (95%). UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019.

TABELA 2. Redução da produtividade do estrato inferior em relação à testemunha em função da cobertura do solo por touceiras de capim-annoni para as sete avaliações realizadas na área de pastagem natural. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019.

Avaliação	Densidade de cobertura de touceiras (%)					
	0	20	40	60	80	95
Dez/15	0 a*	40,3 a	50,9 a	58,9 a	66,4 a	76,2 a
Mar/16	0 a	34,6 b	47,1 b	49,8 b	58,4 b	69,2 b
Ago/16	0 a	49,4 a	57,4 a	65,2 a	71,1 a	78,3 a
Dez/16	0 a	27,5 c	41,4 b	47,9 b	66,3 a	69,3 b
Mar/17	0 a	27,1 c	39,9 b	46,1 b	62,9 b	72,5 b
Set/17	0 a	45,4 a	54,8 a	61,4 a	70,6 a	83,2 a
Fev/18	0 a	36,3 b	49,0 a	60,3 a	72,7 a	77,4 a
Média	0	37,2	48,6	55,6	66,9	75,2
CV (%)	11,6					

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott ($p < 0,05$)

TABELA 3. Redução da produtividade do estrato inferior em relação à testemunha em função cobertura do solo por touceiras de capim-annoni para as sete avaliações realizadas na área de pastagem natural melhorada. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019.

Avaliação	Densidade de cobertura de touceiras (%)					
	0	20	40	60	80	95
Dez/15	0 a*	43,4 a	48,6 b	68,0 a	74,1 a	79,2 b
Mar/16	0 a	27,9 c	36,8 c	46,7 b	55,7 c	68,9 c
Ago/16	0 a	39,9 a	52,2 b	68,0 a	74,1 a	78,5 b
Dez/16	0 a	29,1 c	36,1 c	53,6 b	65,4 b	77,0 b
Mar/17	0 a	36,6 b	46,1 b	64,0 a	68,8 a	78,2 b
Set/17	0 a	49,9 a	64,0 a	67,7 a	79,5 a	89,0 a
Fev/18	0 a	43,4 a	47,6 b	68,0 a	74,1 a	79,2 b
Média		38,6	47,3	62,3	70,2	78,6
CV (%)	10,7					

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott ($p < 0,05$)

Em relação a produtividade de estrato inferior das áreas (Figura 2B), houve diferenças significativas para as condições de infestação até 60% de cobertura por touceiras de capim-annoni, semelhante ao apresentado na primeira avaliação. A *Brachiária Mulatto II* atingiu 8000 Kg ha⁻¹, quando livre de infestação, enquanto as áreas de pastagem natural variaram entre 5000 e 6000 Kg ha⁻¹ de produtividade de estrato inferior.

A avaliação realizada em agosto de 2016, ou seja, no fim do período invernal e início da retomada de crescimento das plantas, apresentou redução acentuada da produtividade de MS do estrato inferior nas infestações mais baixas (Figura 2C),

assemelhando-se aos observados para avaliação realizada em dezembro de 2015 (Figura 1A e Tabela 2). A redução da produtividade do estrato inferior para área de pastagem natural melhorada foi de aproximadamente 55% com 40% da área infestada por capim-annoni e a quase 70% com 60% de infestação. Diferente das avaliações anteriores, observou-se uma diferenciação entre as duas áreas. A área de pastagem natural melhorada, que apresentava um complemento da composição do estrato inferior com culturas adaptadas a estação de cultivo, sofreu maior interferência da espécie invasora que a área de campo nativo. Isso ocorreu mesmo que essa área tenha produzido mais MS do estrato inferior em quase todas as condições de infestação (Figura 3B) e demonstra que independente do manejo e do tamanho das touceiras de capim-annoni, o capim-annoni apresenta elevada agressividade, com grande capacidade de competir pelos recursos.

O resultado da avaliação de dezembro de 2016 (Figura 2E) foi semelhante às realizadas em março do mesmo ano (Tabela 2 e 3) (Figura 2A) e a subsequente, de março de 2017 (Figura 3A), com ligeira diferenciação entre as duas áreas de pastagem natural. Para a avaliação de março de 2017, apesar de, praticamente não ocorrer diferenciação na produtividade do estrato inferior (Figura 3B), observou-se diferenças significativas quanto a perda de produtividade do estrato inferior (Figura 3A) para a maior parte das condições de infestação. Já para a avaliação de dezembro de 2016, ao contrário, as áreas diferenciaram-se quanto a produtividade do estrato inferior (Figura 2F), mas os níveis de redução apresentaram os mesmos parâmetros de redução da produtividade (Figura 2E).

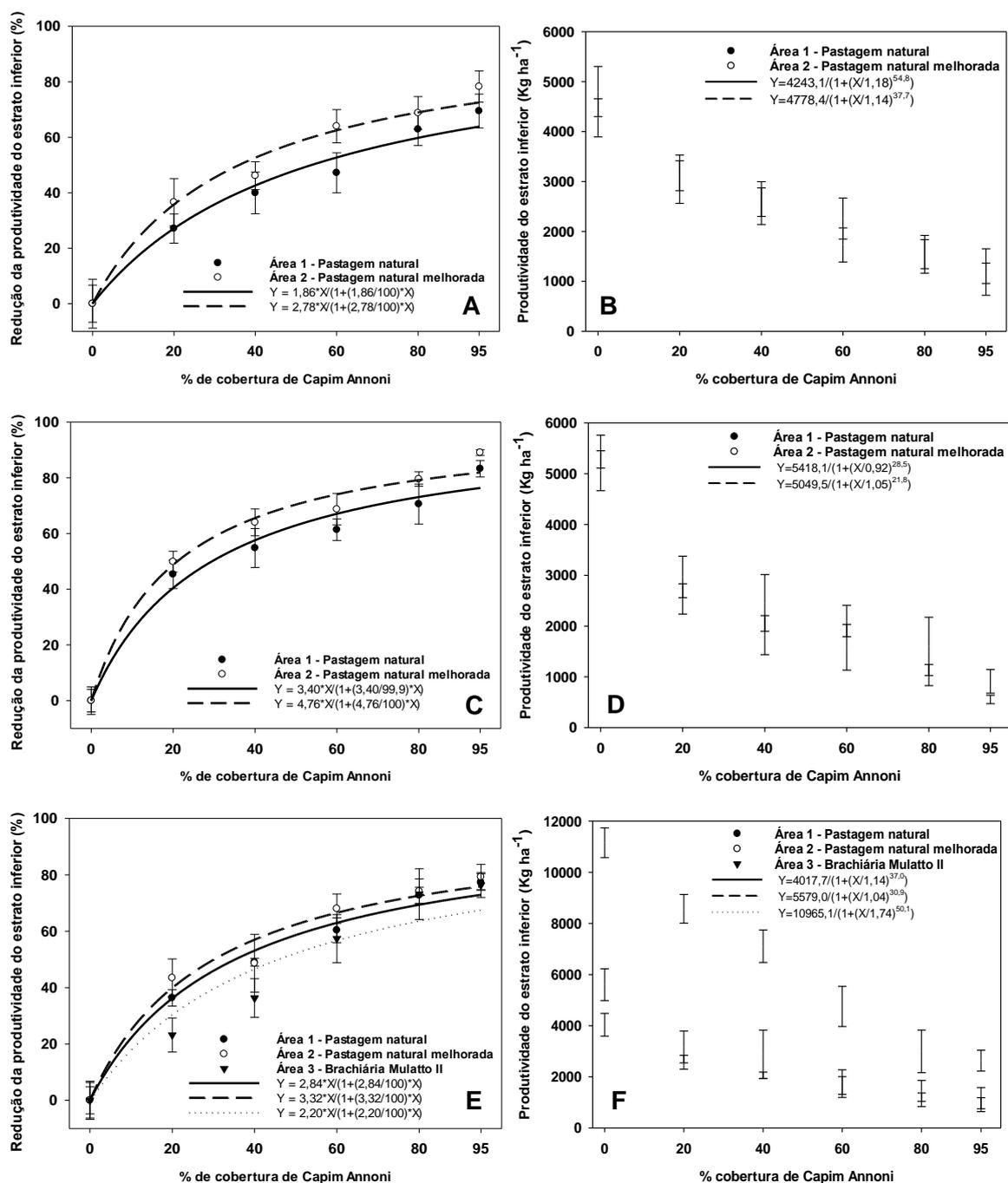


FIGURA 3. Redução da produtividade de massa seca do estrato inferior em relação à testemunha (sem infestação de capim-annoni) e produtividade do estrato inferior em função da porcentagem de cobertura de capim-annoni em três tipos de pastagem em março (A e B), setembro (C e D) de 2017 e fevereiro de 2018 (E e F). Barras verticais representam o intervalo de confiança (95%). UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019.

Na avaliação realizada em setembro de 2016 houve redução de quase 50% da produtividade do estrato inferior com apenas 20% de cobertura por touceiras de capim-annoni para ambas as áreas em estudo (Figura 3C). Esta foi a maior redução da produtividade registrada para essa condição de infestação em todas as coletas

realizadas. No entanto, não diferiu das avaliações realizadas em dezembro de 2015 e a subsequente de fevereiro de 2016 (Tabelas 2 e 3). Assim, como para redução da produtividade do estrato inferior, não ocorreu diferenciação entre as áreas na avaliação de produtividade de massa seca do estrato inferior (Figura 3D).

Na última avaliação, realizada em fevereiro de 2018 (Figura 3E), foi possível incluir novamente nas análises a coleta na área cultivada com *Brachiária* Mulatto II. No entanto, o cenário observado é o mesmo das duas primeiras avaliações. Ocorre diferenciação da área com *Brachiária* com as duas outras áreas somente na condição de 20% de infestação, não se observando mais diferenças a partir de então (Figura 3E). Assim como observado nas outras avaliações, a produtividade de massa seca da *brachiária* foi muito superior às áreas de pastagem natural (Figura 3F), atingindo 11000 Kg ha⁻¹, na condição livre de infestação, aproximadamente 100% a mais que a médias das pastagens naturais (Figura 3F). No entanto, como mencionado anteriormente, a capacidade competitiva do capim-annoni com as culturas é extremamente alta, o que leva a ausência de diferença entre as áreas mesmo com produtividades tão contrastantes.

Os coeficientes de determinação (R^2) indicam boa capacidade de previsão de perdas de rendimento das áreas de pastagem infestadas por capim-annoni por meio das equações de regressão (Tabela 2) e, portanto, suportam a utilização do modelo para estimar o valor do parâmetro “i”, também denominado nível crítico de dano (NCD) (Vidal *et al.*, 2010). O NCD, representa a perda percentual para cada unidade de planta daninha (Machado *et al.*, 2015) e foi originalmente desenvolvido para experimentos em culturas anuais.

3.3.2 Nível Crítico de Dano (NCD)

O NCD, que neste caso representa a perda percentual para cada 1% de cobertura de capim-annoni, variou de 1 a 4,9, dentre todas as situações analisadas, com uma média geral de 2,4% (Tabela 4). Salienta-se que essa resposta não é linear e só se aplica em densidades médio-baixas (até 40% de infestação), pois à medida que aumentamos a densidade, chegaríamos numa redução maior que 100%, que seria biologicamente irreal. A não linearidade da resposta (redução da produtividade) ocorre porque em altas densidades, cada planta da comunidade de plantas daninha tem um impacto menor no rendimento do que em densidades

relativamente baixas (Cousens, 1985) e devido a ocorrência de morte de plantas por conta da competição (Li *et al.*, 2000).

TABELA 4. Parâmetros das equações do modelo de hipérbole retangular para determinar a redução da produtividade do estrato inferior causada pela interferência de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) em diferentes tipos de pastagem. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019.

Avaliação	Área	Parâmetros da equação ¹			
		A	<i>i</i>	R ²⁽²⁾	D ₅₀
dez/15	PN ¹	95,8 (9,2) ³	2,98	0,93	32,15
	PNM	100,0 (0,0)	3,32	0,81	30,12
	BM	100,0 (0,0)	1,99	0,91	50,25
mar/16	PN	87,0 (11,2)	2,53	0,92	34,39
	PNM	100,0 (0,0)	1,69	0,92	59,17
	BM	100,0 (0,0)	1,93	0,97	51,81
ago/16	PN	88,3 (5,6)	4,87	0,90	18,13
	PNM	100,0 (7,0)	3,32	0,92	30,12
dez/16	PN	100,0 (0,0)	1,96	0,96	51,02
	PNM	100,0 (0,0)	2,10	0,87	47,62
mar/17	PN	100,0 (0,0)	1,86	0,96	53,76
	PNM	100,0 (0,0)	2,78	0,92	35,97
set/17	PN	99,9 (12,6)	3,40	0,86	29,38
	PNM	100,0 (0,0)	4,76	0,93	21,01
fev/18	PN	100,0 (0,0)	2,84	0,96	35,21
	PNM	100,0 (0,0)	3,32	0,80	30,12
	BM	100,0 (0,0)	2,20	0,98	45,45

¹PN: Pastagem natural; PNM: Pastagem natural melhorada; BM: Brachiária Mulatto II. ¹Equação hiperbólica ($y = (i \cdot X) / (1 + (i/A) \cdot X)$), em que y porcentagem de perda do rendimento em relação à testemunha não infestada; A= assíntota máxima; x= densidade da infestante (variável independente); *i* = nível crítico de dano, isto é, perda percentual no rendimento devido ao efeito de 1% de infestação (valor da tangente à hipérbole na densidade 0); ²Coefficiente de determinação da regressão. ³Valores entre parênteses indicam erro-padrão da estimativa do parâmetro.

Em geral, os maiores valores de NCD foram observados nas avaliações realizadas no fim do período invernal (ago/16 e set/17), o que pode ter sido influenciado pela menor produtividade do estrato inferior nessa época, como visto acima. Também cabe destacar que nas avaliações realizadas na área cultivada com brachiária, o NCD sempre foi menor quando comparado às outras duas áreas em estudo, demonstrando novamente, assim como observado anteriormente para as perdas de rendimento, ser uma melhor competidora com a espécie daninha invasora.

3.3.3 Nível de Dano Econômico (NDE)

A análise dos resultados de NDE em todas as condições, áreas e avaliações realizadas demonstrou que a porcentagem de cobertura por touceiras de capim-annoni toleradas pelas áreas de pastagem diminui com o incremento do valor da produtividade da pastagem (conversão alimentar) ou com a redução no custo das medidas de controle (Figuras 4, 5 e 6). Para a avaliação realizada em dezembro de 2015, considerando-se o melhor cenário (conversão alimentar de 15/1 e o menor custo de controle para uma aplicação de herbicida) o NDE variou entre 3,5 e 5,5%, entre as três áreas analisadas (Figura 4). Isso significa, que, para as condições analisadas, apenas aproximadamente 4,5% de infestação por touceiras de capim-annoni em uma área de produção de pastagem já justifica a realização de operações de controle.

Mesmo considerando o pior cenário, com uma conversão alimentar de 25/1 e o custo de controle de R\$ 400,00 que corresponderia a duas aplicações de herbicida na estação de cultivo, o valor máximo de NDE observado é de 18,5%, para a área cultivada com pastagem natural (Figura 4A) e de 15% para a área cultivada com brachiária. Como já discutido anteriormente, a brachiária apresentou-se como melhor competidora e com potencial de produção de massa superior aos das áreas de pastagem natural. Essas duas características podem distorcer (aumentar) o valor de NDE. No geral, considerando um valor médio para todas as áreas, observou-se que o NDE se situa próximo aos 9% de infestação.

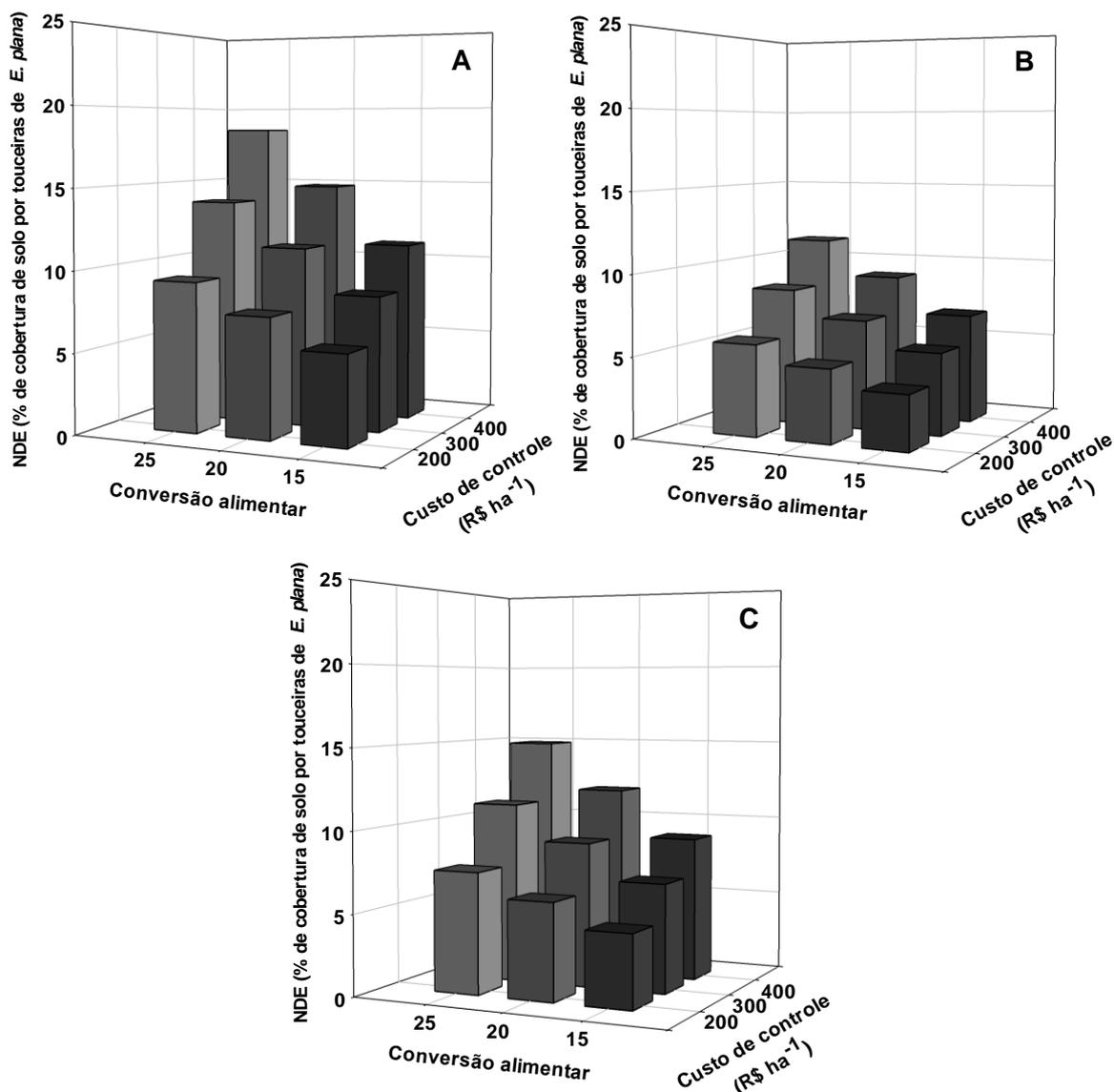


FIGURA 4. Nível de dano econômico (NDE) de capim-annoni em três tipos de pastagem: pastagem natural (A) pastagem natural melhorada (B) e Brachiária Mulatto II (C), considerando três cenários de conversão alimentar (15, 20 e 25 Kg Kg⁻¹) e três cenários de custo de controle (200, 300 e 400 R\$ ha⁻¹) para a avaliação realizada em dezembro/2015. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019.

Os valores de NDE baseados nos dados da avaliação realizada em agosto de 2016, demonstraram um cenário semelhante ao observado na avaliação realizada em dezembro de 2015 (Figura 5). Para as duas áreas analisadas, pastagem natural (Figura 5A) e pastagem natural melhorada (Figura 5B), o NDE médio foi de 7,5%, variando de 3,5% em uma situação ótima, com baixo custo de controle e conversão alimentar, até 13,5%, numa condição de alto custo de controle e conversão alimentar.

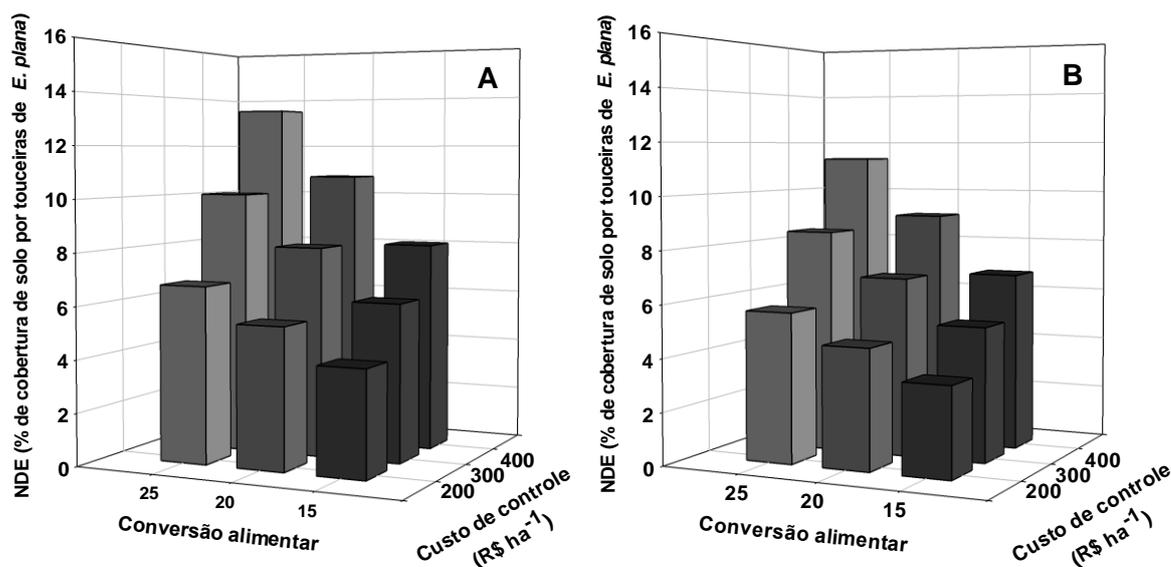


FIGURA 5. Nível de dano econômico (NDE) de capim-annoni em dois tipos de pastagem: pastagem natural (A) e pastagem natural melhorada (B), considerando três cenários de conversão alimentar (15, 20 e 25 Kg Kg⁻¹) e três cenários de custo de controle (200, 300 e 400 R\$ ha⁻¹) para coleta realizada em agosto/2016. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2018.

Na avaliação realizada em fevereiro de 2018 (Figura 6), os valores de NDE, se diferenciaram entre as duas áreas em estudo, ao contrário da última avaliação analisada. Na área de pastagem natural (Figura 6A), o NDE variou de 5,5 a 18%, com um NDE médio de 11 % de cobertura por touceiras de capim-annoni. Já para a área 2 (Figura 6B), com pastagem natural melhorada, os valores foram substancialmente menores, variando de 3,5 a 11%, com um NDE médio de 6,8% de cobertura. E para a área cultivada com brachiária (Figura 6C), a variação foi de 2,5 a 8,5% de cobertura, com média de 5%.

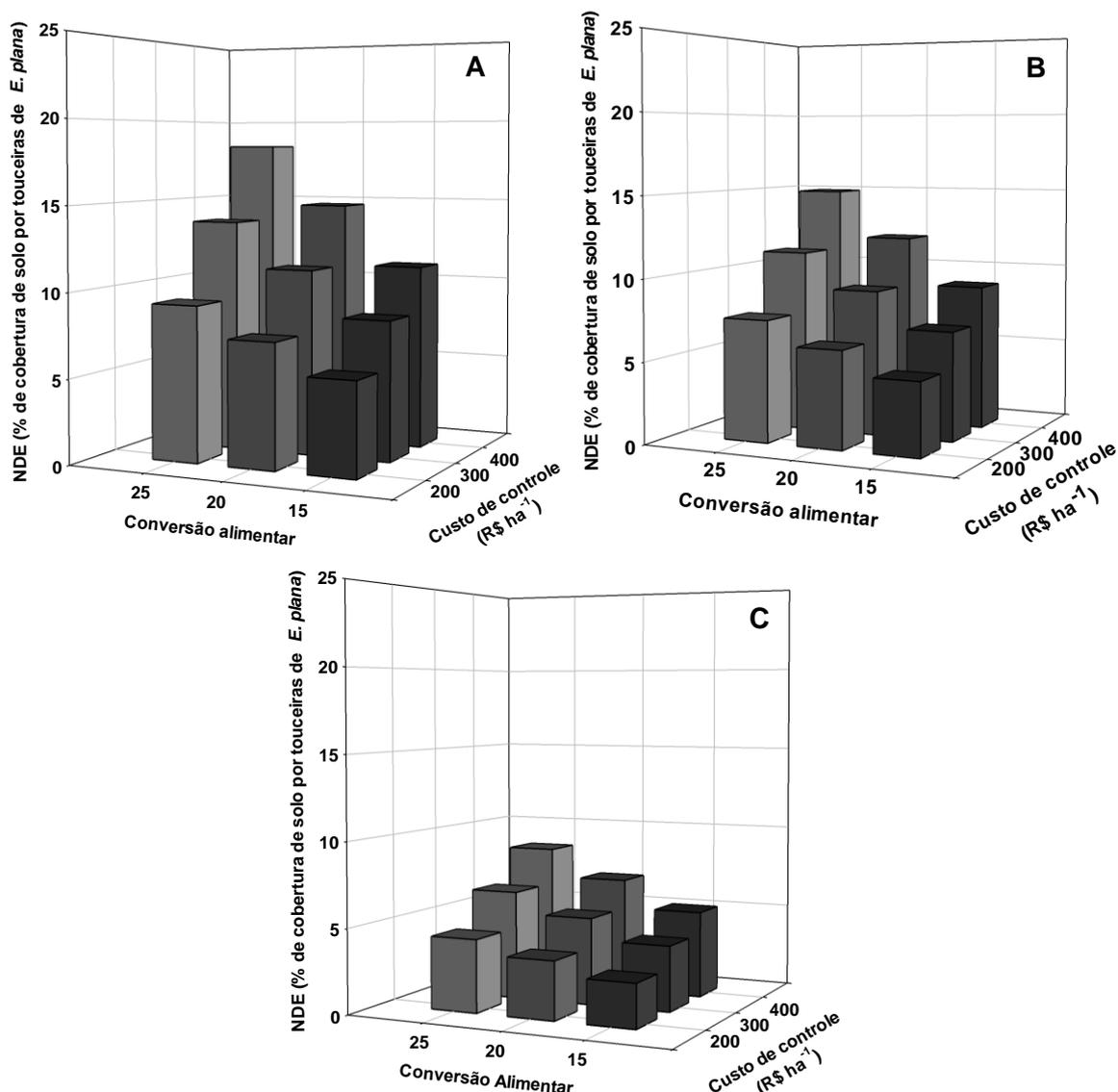


FIGURA 6. Nível de dano econômico (NDE) de capim-annoni em três tipos de pastagem: pastagem natural (A), pastagem natural melhorada (B) e Brachiária Mulatto II (C) considerando três cenários de conversão alimentar (15, 20 e e 25 Kg Kg⁻¹) e três cenários de custo de controle (200, 300 e 400 R\$ ha⁻¹) para coleta realizada em fevereiro/2018. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019.

3.4 Discussão

Os danos causados pelo capim-annoni à produção agropecuária são largamente discutidos, mas raramente quantificados. Alguns estudos buscaram entender quais fatores conferem vantagens competitivas ao capim-annoni em relação as espécies das áreas invadidas. Esses estudos avaliaram fatores como o poder germinativo de sementes (Lisboa *et al.*, 2009; Bittencourt *et al.*, 2017), o crescimento e distribuição de raízes (Abichequer *et al.*, 2009), alelopatia e ecologia

química (Favaretto *et al.*, 2015; Cecchin *et al.*, 2016; Bittencourt *et al.*, 2018; Favaretto *et al.*, 2019) e a dinâmica de dominância, crescimento, recrescimento e rebrota (Scheffer-Basso *et al.*, 2012; Scheffer-Basso *et al.*, 2016). No entanto, apesar de elucidar de qual maneira as plantas de capim-annoni exercem a competição em relação as demais que ocupam os sistemas pastoris, nenhum deles quantifica esse efeito. Uma estimativa, de ordem financeira, apontou que as perdas decorrentes das infestações de capim-annoni no estado do Rio Grande do Sul em um período de 10 anos (1996-2005), foram estimadas em 88 milhões de dólares, somente considerando a falta de produção das áreas invadidas (Medeiros & Focht, 2007). Devido a essa carência de informações, torna-se dificultada a comparação dos dados obtidos no presente trabalho, frente aos possíveis dados existentes na literatura.

Alguns estudos, buscaram entender ou quantificar a extensão das áreas invadidas pelo capim-annoni. Um diagnóstico realizado nas áreas de produção pecuária do RS demonstrou que metade dos produtores entrevistados tinham seus campos invadidos por capim-annoni, e que estas áreas apresentavam uma porcentagem média de 41% de infestação (UFRGS/IEPE, 2005). Esse dado, além de preocupante, demonstra que as áreas de produção, baseadas em pastagens de campo nativo/pastagem natural, estavam seriamente comprometidas e possivelmente poucos anos após esse levantamento, caso nenhuma medida de controle tenha sido tomada, se tornaram completamente inviáveis para produção pecuária. Outro estudo buscou mapear a infestação de capim-annoni usando imagens de satélite do ano de 2011, de uma área pertencente a um parque eólico no município de Santana do Livramento. Esse estudo demonstrou que o capim-annoni estava presente em aproximadamente 17% da área analisada (Cicconet *et al.*, 2015). Outro levantamento, da mesma área, porém com imagens de satélite do ano de 2017, apresentou porcentagens de cobertura de capim-annoni chegando a 26% da área de pastagens estudada (Cicconet, 2017). Observa-se que mesmo no levantamento que apresentou o menor nível de cobertura, havia praticamente 1/5 da área ocupada por touceiras. Além da inexistência de produtividade nos locais que as touceiras ocupam, existe ainda o efeito competitivo das touceiras com as espécies ao seu redor.

Tomando como base os dados dos levantamentos citados acima e por meio dos dados obtidos no presente trabalho (Figuras 1, 2 e 3) pode-se inferir que áreas,

semelhantes às estudadas, que parecem representar boa parte das áreas invadidas por capim-annoni, muito comuns no pampa gaúcho, tem boa parte do seu potencial de produção seriamente comprometido. Formando um paralelo entre os dados pode-se afirmar que essas áreas de pastagem têm potencial produtivo reduzida em 35 a 45%. Convertendo esses valores para produção de carne, por exemplo, observa-se que para as áreas com 17% de cobertura (Cicconet *et al.*, 2015) tem-se uma redução de produtividade média de 35% da produtividade em uma área de pastagem natural (1435 kg baseados num potencial médio de 4100 kg) (Figuras 1, 2 e 3). Para uma conversão alimentar de 20/1, observa-se que áreas semelhantes à descrita podem deixar produzir aproximadamente 75 Kg ha⁻¹ (375,00 R\$ ha⁻¹) de carne, para cada período de coleta. Para o pior cenário descrito acima, onde observou-se uma infestação média de 41% de cobertura do solo por touceiras de capim-annoni (UFRGS/IEPE, 2005), a redução de produtividade média é de 45% em uma área de pastagem natural (1845 kg baseados num potencial médio de 4100 kg) (Figuras 1, 2 e 3). Para uma conversão alimentar média de 20/1, observa-se uma redução de aproximadamente 92 Kg ha⁻¹ (460,00 R\$ ha⁻¹) de carne para cada período de coleta.

Em um estudo sobre taxa de ingestão (produto da massa do bocado x taxa de bocados) de ovelhas e novilhas em pastagem natural foi verificado que as ovelhas conseguem manter sua taxa de ingestão constante, independente dos níveis de cobertura de touceiras de capim-annoni, enquanto as novilhas, tem sua taxa de ingestão substancialmente reduzida quando a porcentagem de cobertura das touceiras é superior a 34% (Bremm *et al.*, 2016). Isso sugere que a resposta do animal pode ser restringida em campos naturais com predomínio de touceiras de capim-annoni. Os resultados deste experimento atestam que a presença do capim-annoni influencia diretamente o padrão de pastejo dos animais e conseqüentemente diminuem a produtividade animal, simplesmente por sua presença, mesmo sem incluir nesse cálculo a perda de produtividade. Quando os dados acima mencionados são confrontados com os resultados do presente trabalho, observa-se que o prejuízo tende a ser ainda maior. Apesar do comportamento dos animais não ter sido afetado em situações de cobertura inferiores a 34%, a forragem disponível para ingestão já está seriamente comprometida. Os prejuízos à disponibilidade de forragem podem variar de 25 (Figura 2E) a 60% (Figura 3C) para esta porcentagem de cobertura de touceiras,

dependendo da condição avaliada. Ainda, deve-se tomar cuidado ao analisar os dados dos dois estudos individualmente. Enquanto o trabalho de Bremm *et al.* (2016) indica que áreas com 1/3 de sua área coberta por touceiras de capim-annoni, não afetam o comportamento do animal, podendo passar a ideia de que áreas com condições semelhantes ainda estariam em um nível aceitável e lucrativo de infestação, os dados do presente trabalho apresentam um cenário em que condições a partir de 5% de cobertura são prejudiciais a produtividade (Figuras 4, 5 e 6). Somente um experimento que integrasse as duas vias de avaliação poderia indicar qual é a condição que afeta significativamente a produção de uma pastagem infestada por capim-annoni.

Em relação a produtividade das áreas de pastagem natural existe uma grande variação nos dados encontrados na literatura. Como os tipos de solo apresentam-se como grandes determinantes desta produção, é possível encontrar estudos que apresentam variações de 2500 até mais de 5000 kg ha⁻¹ de MS em pastagens nativas não adubadas (Corrêa & Maraschin, 1994; Maraschin *et al.*, 1997). Nas avaliações realizadas no presente trabalho, foram observadas produtividades de massa seca do estrato inferior variando de 3000 kg ha⁻¹ (Figura 2D) em uma avaliação realizada durante o inverno em área de pastagem natural, até aproximadamente 6000 kg ha⁻¹ (Figura 1B e 2B), na condição livre de infestação de capim-annoni considerando as áreas de pastagem natural e pastagem natural melhorada. Além disso, é importante destacar que as áreas de pastagem natural/campo nativo do RS são compostas predominantemente por espécies de ciclo estival, o que determina a sazonalidade da produção de forragem. A consequência deste fato é a redução da produção de forragem nos meses de inverno, como observado nas coletas realizadas durante essa estação (Figuras 2D e 3D).

As altas produtividade da brachiária Mulato II encontradas neste estudo, variando de 7000 (Figura 2B) a 11000 Kg ha⁻¹ (Figura 3F) também foram reportadas em outros trabalhos. A produção de forragem da cv. Mulato II pode variar entre 6000 e 27000 Kg ha⁻¹ de matéria seca por ano (Argel *et al.*, 2007; Silveira *et al.*, 2013; Silveira *et al.*, 2016). Outras características importantes da cv. Mulato II são a boa tolerância ao sombreamento moderado e períodos prolongados de seca, recuperação bastante aceitável depois da ocorrência de geadas e qualidade forrageira alta, em comparação com outras gramíneas tropicais (Argel *et al.*, 2007).

Além das características de uma boa forrageira, citadas acima, cabe também destacar suas ótimas características como competidora. Apesar de não ser uma espécie invasora, como o capim-annoni, as plantas de brachiária Mulatto II, após implantadas em uma área tendem a dominar a mesma, tendendo a excluir as demais espécies presentes. Ao longo das avaliações, apesar de não ser objeto de estudo, observou-se reduções significativas no número de touceiras de capim-annoni, na área em geral. O grande volume de massa verde, a altura do dossel, associada a suscetibilidade do capim-annoni ao sombreamento (Medeiros & Focht, 2007), podem ter contribuído para a ocorrência deste efeito. Essas características de boa competidora foram comprovadas nas avaliações de redução da produtividade de pastagem em função do aumento da cobertura por touceiras de capim-annoni. Nas três avaliações realizadas na área cultivada com brachiária Mulatto II (Figuras 1A, 2A e 3E), observou-se que para infestações de até 40% de cobertura, a redução da produtividade do estrato inferior foi menor quando comparadas às duas áreas de pastagem natural (Figuras 1B, 2B e 3F).

O NCD, adaptado para o presente trabalho, representa a redução percentual da produtividade para cada 1% de cobertura por touceiras de capim-annoni. Devido a isto, a comparação dos NCD com trabalhos já existentes na literatura, exclusivamente com culturas anuais, acaba se tornando restrito. Por exemplo, em um trabalho avaliando a interação entre *Euphorbia heterophylla* e feijoeiro, foram observados valores de NCD variando de 2,4 a 5,5% de redução de produtividade por cada planta presente no experimento (Machado *et al.*, 2015), enquanto os valores de NCD do presente trabalho variaram de 1,7 a 4,9% (Tabela 4). No que compete a comparação dos dois casos, é possível afirmar que o impacto no rendimento causado por uma planta de *E. heterophylla* é muito maior que o causado por uma touceira de capim-annoni. O valor numérico em si é semelhante, porém para se obter o mesmo percentual de redução é necessária uma área de 100 m² (1% de infestação) de cobertura de capim-annoni.

Além do NCD, após a análise das curvas de perdas de rendimento, é possível calcular também o limiar ou nível de dano econômico (NDE). O cálculo, interpretação e uso do NDE em áreas de pastagem é extremamente incipiente e muito menor que a adoção em áreas de culturas anuais, para as quais o mesmo também não tem seu uso muito expandido. Para as culturas anuais, várias pesquisas apontam a existência de uma significativa variação nos valores de NDE

obtidos (Fleck *et al.*, 2002; Vidal *et al.*, 2004; Kalsing & Vidal, 2013; Machado *et al.*, 2015; Agostinetto *et al.*, 2016; Galon *et al.*, 2016; Piasecki & Rizzardi, 2018). Isso ocorre devido a diversos fatores como diferenciação entre cultivares, plantas daninhas em estudo e sua capacidade competitiva em cada ambiente. Este fato é atribuído ao grupo de características morfofisiológicas inerentes, como o hábito de crescimento e o ciclo de desenvolvimento a cada uma das espécies (Barroso *et al.*, 2010; Kalsing & Vidal, 2013; Parreira *et al.*, 2014), o que explica, em parte a baixa adoção desse método para tomada de decisões de manejo. Os valores de NDE encontrados no presente estudo variaram de 2,5 a 18,5% de infestação de capim-anonni em função da composição das espécies e manejo da pastagem, época e ano de avaliação (Figura 4, 5 e 6).

Uma das dificuldades da comparação de experimentos de determinação do nível de dano econômico (NDE) está no fato de que as relações matemáticas obtidas são empíricas e não expressam o resultado de interações ecofisiológicas entre as espécies (Cousens, 1987). Além disso, o NDE necessita de valores econômicos que são muito instáveis e de difícil previsão (Vidal *et al.*, 2010). Para contornar esses problemas, Vidal *et al.* (2004) propôs a realização de simulações como as apresentadas nas Figuras 4, 5 e 6. Dentro dos cenários analisados, utilizou-se as informações de redução da produtividade dos três sistemas de pastagem estudados, para as três avaliações mais contrastantes, com três variações de custo de controle, variando de 200 a 400 R\$ ha⁻¹ e três variações de conversão alimentar, que variaram de 15 a 25 Kg Kg⁻¹. Considerando todas essas avaliações, observou-se uma variação de 2,5 a 18,5% nos valores de NDE (Figura 4, 5 e 6). Da mesma forma que para o NCD, além dos fatores citados acima, a comparação com NDE's de plantas daninhas em culturas anuais fica dificultada pela diferença na expressão dos valores. Por exemplo, o NDE de picão-preto (*Bidens pilosa*) sobre cultivares de feijão foi de 0,6 a 8,7 plantas m⁻² (Galon *et al.*, 2016). Já o NDE de milho voluntário RR[®] em soja apresentou valores substancialmente menores, variando de 0,08 a 0,48 plantas m⁻² (Piasecki & Rizzardi, 2018). Esses valores, são sensivelmente menores quando comparados aos valores de NDE do presente trabalho, já que 1% de cobertura representa 100 m² de touceiras de capim-anonni. Em um trabalho avaliando o NDE de canjiqueira (*Byrsonima cydoniifolia* A. Juss), um arbusto comum em pastagens nativas do pantanal, conclui-se que os diferentes métodos de controle testados, apresentavam

NDE variando de 8 a 30% de cobertura do solo (Berselli, 2015). Apesar das diferenças metodológicas estes valores são próximos aos do presente trabalho que variaram de 2,5 a 18,5% (Figura 4, 5 e 6).

No geral, levando-se em consideração todas as épocas de avaliação, condição de infestação e métodos de manejo de pastagem, o NDE de capim-annoni em pastagens naturais e cultivadas é de 8% de cobertura (Figuras 4, 5 e 6). Esse valor é relativamente baixo, quando se comparam os dados aos levantamentos já mencionados acima (UFRGS/IEPE, 2005; Cicconet *et al.*, 2015; Cicconet, 2017), que apresentam níveis médios de infestação, em geral, superiores a 20%. Ou seja, para estas áreas, o nível de infestação já estaria maior que o dobro do valor do NDE, ou, considerando os melhores cenários, estariam no limite do limiar de controle. No entanto, devido a fatores como o desconhecimento de valores de NDE, da dificuldade de controle do capim-annoni, da baixa divulgação e aceitação de métodos eficientes de controle como o aplicador seletivo Campo Limpo®, o capim-annoni continua causando prejuízos, expandindo sua área de invasão e inviabilizando a produção pecuária, em especial nos campos de pastagem natural.

A decisão de controle tomando como base o NDE não leva em consideração a quantidade de sementes produzidas pelas plantas que não serão controladas caso seja decidido “não aplicar”. Assim, por exemplo, quando uma planta m^{-2} de caruru (*Amaranthus retroflexus*) está infestando uma determinada área e o cálculo indicar que essa infestação está abaixo do NDE, essas plantas permanecerão na área e produzirão cada uma, cerca de 117.000 sementes (Altieri & Liebman, 1988), que alimentarão o banco de sementes no solo, o que certamente levará o produtor a ter massivas re-infestações da espécie por várias safras em sequência. Em áreas com infestação de capim-annoni, esse é um dos principais problemas e está entre os desafios do emprego dessa prática, visto que a produção de sementes de uma única touceira pode chegar a 300.000 (Reis, 1993). Sendo assim, mesmo em áreas com reduzidas infestações da espécie, a decisão de não aplicar nenhum tipo de controle, certamente resultará em infestações crescentes ao longo dos anos e que não serão eliminadas com uma única aplicação de herbicidas, por exemplo, porque re-infestações ocorrerão durante vários anos. Uma maneira de se contornar tal problema seria a utilização do NDEO (Nível de Dano Econômico Ótimo), que leva a inclusão da variável produção de sementes no cálculo (Fleck *et al.*, 2002). No entanto, aplicação do NDEO na Herbologia mitigaria apenas as consequências

ecológicas a médio e longo prazo, não resolvendo as demais limitações apresentadas anteriormente comuns a ambos os níveis de dano (Kalsing & Vidal, 2010). O NDEO pode ser estimado dividindo o NDE de um ano pela taxa intrínseca de aumento de uma espécie de planta daninha (Cousens *et al.*, 1986). Para espécies de plantas daninhas com altas taxas de crescimento os limiares devem ser próximos de zero (Swanton *et al.*, 1999)

Além de toda a questão de perdas econômicas causadas pela invasão do capim-annoni, há muitas outras do ponto de vista ambiental. Nos ecossistemas naturais, as espécies de plantas, animais e microrganismos exóticos introduzidos podem ameaçar a biodiversidade das espécies nativas, tendo sido responsabilizadas por declínio de 42% das populações de espécies ameaçadas de extinção nos Estados Unidos (Pimentel, 2011). O Pampa é o segundo Bioma mais devastado do país atualmente, sendo superado somente pela degradação da mata atlântica. A área original do Bioma era composta por 176,5 mil km², o que correspondia a 63% do território gaúcho (Ferreira & Fillipi, 2010). Menos de 36% da vegetação original do Bioma Pampa se mantém preservada, sendo boa parte das áreas originais substituídas por lavouras de inverno e verão (sobretudo de soja, trigo e arroz), às práticas de silvicultura e ao sobrepastoreio pela pecuária (Boldrini, 2009). Um dos responsáveis pela devastação do Bioma Pampa e a substituição dos campos por monocultivos agrícolas e silviculturais é o capim-annoni. Ainda pior que todos os danos econômicos e ambientais causados pela invasão é a dificuldade de erradicação da espécie das áreas. Em um trabalho que buscou avaliar diversos métodos de remoção de plantas de capim-annoni, como arranquio manual, roçadas periódicas e aplicação localizada de herbicida durante quatro anos demonstraram que, apesar da redução significativa na cobertura de capim-annoni ao longo dos anos, os tratamentos de remoção não foram eficazes o suficiente para erradicar as espécies invasoras nas parcelas (Guido & Pillar, 2017).

3.5 Conclusões

Infestações de touceiras de capim-annoni de até 20% de cobertura, podem reduzir a produtividade de pastagem de 20 a 50%. Em altas infestações, acima de 60%, a redução da produtividade de pastagem pode chegar a 80%, independente do manejo de pastagem adotado. Pastagens cultivadas com *Brachiária Mulatto II* são mais competitivas com o capim-annoni que áreas de pastagem natural em

infestações inferiores a 40%. Em situações de infestação abaixo de 40%, o incremento em 1% de cobertura de capim-annoni representa 2,4% de redução na produtividade de pastagem.

A redução na produtividade da pastagem é variável entre épocas dentro do mesmo ano e entre anos, em situações de até 40% de infestação. Acima de 40% não ocorrem variações consistentes na redução da produtividade entre épocas de avaliação e sistemas de condução de pastagem. O nível de dano econômico do capim-annoni em diferentes sistemas de cultivos de pastagem é relativamente baixo e pouco variável entre os sistemas, justificando a adoção de medidas de controle a partir de 8% de infestação por touceiras de capim-annoni.

3.6 Referências Bibliográficas

ABICHEQUER, A. D. *et al.* Crescimento e distribuição de raízes de capim-annoni-2 e do campo nativo: vantagem competitiva do capim-annoni-2? **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 15, n. 1, p. 7-12, 2009.

AGOSTINETTO, D. *et al.* Yield loss and economic thresholds of yellow nutsedge in irrigated rice in function of cultivars. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 32, n. 1, p. 588-596, 2016.

ALTIERI, M. A.; LIEBMAN, M. **Weed management in agroecosystems: ecological approaches**. Boca Raton: CRC, 1988. 354 p.

ARGEL, P. J. *et al.* **Cultivar Mulato II (Brachiaria híbrida CIAT 36087)**: Gramínea de alta qualidade e produção forrageira, resistente às cigarrinhas e adaptada a solos tropicais ácidos. Boletim. Cali: CIAT, 2007. 21 p.

BARBOSA, F. G. *et al.* Predicting the current distribution and potential spread of the exotic grass *Eragrostis plana* Nees in South America and identifying a bioclimatic niche shift during invasion. **Austral Ecology**, Armidale, v. 38, n. 3, p. 260-267, 2013.

BARROSO, A. A. M.; YAMAUTI, M. S.; ALVES P. L. C. A. Interferência entre espécies de planta daninha e duas cultivares de feijoeiro em duas épocas de semeadura. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n.1, p. 609-616, 2010.

BERSELLI, C. **Nível de dano econômico de canjiqueira (*Byrsonima cydoniifolia* A. Juss) em pastagens nativas do pantanal da Nhecolândia**. 2015. 43 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Produção e Gestão Agroindustrial, Universidade Anhanguera, Campo Grande, 2015.

BITTENCOURT, H. V. H. *et al.* Chemical ecology of *Eragrostis plana* helps understanding of the species' invasiveness in an agroecosystem community. **Crop and Pasture Science**, Clayton South, v. 69, n. 10, p. 1050-1060, 2018.

- BITTENCOURT, H. V. H. *et al.* Seed germination ecology of *Eragrostis plana*, an invasive weed of South American pasture lands. **South African Journal of Botany**, Pietermaritzburg, v. 109, n. 1, p. 246-252, 2017.
- BOLDRINI, I. I. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. In: PILLAR, V. P. *et al.* **Campos sulinos**: conservação e uso sustentável da biodiversidade. Brasília: MMA, 2009. p. 63-77.
- BREMM, C. *et al.* Diet switching by mammalian herbivores in response to exotic grass invasion. **PLoS ONE**, Cambridge, v. 11, n. 2, [art.]. e0150167, 2016.
- CARLOTTO, S. B. *et al.* Comportamento ingestivo diurno de vacas primíparas em pastagem nativa dominada por capim-annoni-2 com suplementação protéica e mineral em diversas estações climáticas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 3, p. 454-461, 2010.
- CARVALHO, P. C. F.; BATELLO, C. Access to land, livestock production and ecosystem conservation in the Brazilian Campos biome: The natural grasslands dilemma. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 120, n. 1, p. 158-162, 2009.
- CECCHIN, K. *et al.* Allelopathy and allelochemicals of *Eragrostis plana* (Poaceae) and its relation with phenology and nitrogen fertilization. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 35, n. 1, [art.] e017157907, 2017.
- CICCONET, N. *et al.* Mapeamento de *Eragrostis plana* Nees (capim-annoni) por meio de imagens orbitais. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 20-33, 2015.
- CICCONET, N. **Mapeamento das áreas de ocorrência de infestação do *Eragrostis plana* Nees (capim-annoni) com sensoriamento remoto: estudo de caso em Santana do Livramento/RS/Brasil**. 2017. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.
- CORREA, F. L.; MARASCHIN, G. E. Crescimento e desaparecimento de uma pastagem nativa sob diferentes níveis de oferta de forragem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 10, p. 1617-1623. 1994
- COUSENS, R. An empirical model relating crop yield to weed and crop density and a statistical comparison with other models. **Journal of Agricultural Sciences**, Ontario, v. 105, n. 3, p. 513-521, 1985.
- COUSENS, R. *et al.* Modelling the economics of controlling *Avena fatua* in winter wheat. **Pest Management Science**, New York, v. 17, n. 1, p. 1-12, 1986.
- COUSENS, R. Theory and reality of weed control thresholds. **Plant Protection**, Quarterly, v. 2, n. 1, p. 13-20, 1987.
- CRAINE, J. M. *et al.* Functional traits, productivity and effects on nitrogen cycling of 33 grassland species. **Functional Ecology**, London, v. 16, n. 5, p. 563-574, 2002.

- EMBRAPA. **Capim-Annoni**. 2008. Disponível em: <http://www.cpact.embrapa.br/index.php>. Acesso: 10 fev. 2016.
- FAVARETTO, A. *et al.* New phytotoxic cassane-like diterpenoids from *Eragrostis plana*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, München, v. 67, n. 7, p. 1973-1981, 2019.
- FAVARETTO, A. *et al.* Pattern of allelochemical distribution in leaves and roots of tough lovegrass (*Eragrostis plana* Nees.). **Australian Journal of Crop Science**, Brisbane, v. 9, n. 11, p. 1119-1125, 2015.
- FERREIRA, A. T. **Uma “Exótica” No Campo**: O Capim Annoni-2 e suas influências na produção agropecuária na coxilha de São Rafael, Município de Quaraí - RS. Porto Alegre: UFRGS, 2011. 56 p.
- FERREIRA, E. B. *et al.* **ExpDes.pt**: pacote experimental designs (Portuguese). R package version 1.2.0. 2018.
- FERREIRA, N. R. *et al.* Banco de sementes do solo de margem viária dominada por capim-annoni-2 e sujeito ao controle com distúrbios no solo e introdução de gramíneas. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 3, p. 54-63, 2008.
- FERREIRA, N. R.; FILIPPI, E. E. Reflexos econômicos, sociais e ambientais da invasão biológica pelo capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) no Bioma pampa. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 27, n. 1/3, p. 47-70, 2010.
- FLECK, N. G. *et al.* Nível de dano econômico como critério para tomada de decisão no controle de guaxuma em soja. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 421-429, 2002.
- FOCHT, T.; MEDEIROS, R. B. Prevention of natural grassland invasion by *Eragrostis plana* Nees using ecological management practices. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 41, n. 8, p. 1816-1823, 2012.
- FREITAS, E. M. *et al.* Floristic diversity in areas of sandy soil grasslands in Southwestern Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 112-130, 2010.
- GALON, L. *et al.* Interference and economic threshold level for control of beggartick on bean cultivars. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 411-422, 2016.
- GUIDO, A.; PILLAR, V. D. Invasive plant removal: assessing community impact and recovery from invasion. **Journal of Applied Ecology**, London, v. 54, n. 1, p. 1230-1237, 2017.
- HASENACK, H. *et al.* Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO DE FORRAGEIRAS E PRODUÇÃO ANIMAL, 2., 2007, Porto Alegre, **Resumos**[...]. Porto Alegre: Depto. Forrageiras e Agrometeorologia/UFRGS, 2007. p. 15-21.

JAKELAITIS, A. *et al.* Efeitos da interferência de plantas daninhas na implantação de pastagem de *Brachiaria brizantha*. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n.1, p. 8-14, 2010.

KALSING A.; VIDAL R. A. Nível crítico de dano de papuã em feijão-comum. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 843-850, 2013.

KALSING, A.; VIDAL, R. A. Nível de dano econômico aplicado à herbologia – revisão. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 20, n. 1, p. 43-56, 2010.

LI, B. L.; WU, H.; ZOU, G. Self-thinning rule: a causal interpretation from ecological field theory. **Ecological Modelling**, Towson, v. 132, n. 1/2, p. 167-173, 2000.

LISBOA, C. A. V. *et al.* Poder germinativo de sementes de capim-annoni-2 (*Eragrostis plana* Nees) recuperadas em fezes de bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 405-410, 2009.

MACHADO, A. B. *et al.* Rendimento de grãos de feijão e nível de dano econômico sob dois períodos de competição com *Euphorbia heterophylla*. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 41-48, 2015.

MARASCHIN, G. E. *et al.* Native pasture, forage on offer and animal response. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 18., 1997, Saskatoon. **Proceedings**[...]. Saskatoon. Paper 288. 1997. v. 2.

MARASCHIN, G. E. Utilização, manejo e produtividade das pastagens nativas da região sul do Brasil. In: CICLO DE PASLESTRAS EM PRODUÇÃO E MANEJO DE BOVINOS DE CORTE, 3., Porto Alegre. **Resumos**[...]. Porto Alegre: ULBRA, 1998. p. 29-39.

MEDEIROS, R. B. *et al.* Expansão de *Eragrostis plana* Ness (capim-annoni-2), no Rio Grande do Sul e indicativos de controle. In: REUNIÓN DEL GRUPO TÉCNICO REGIONAL DEL CONO SUR EN MEJORAMIENTO Y UTYILIZACIÓN DE LOS 133 RECURSOS FORRAJEROS DEL ÁREA TROPICAL Y SUBTROPICAL, 1., 2004, Salto. **Anais**[...]. Salto: Universidad de la República, 2004.

MEDEIROS, R. B. *et al.* Invasão de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) no Bioma Pampa do Rio Grande do Sul. In: PILLAR, V. P. *et al.* **Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. p. 317-330.

MEDEIROS, R. B.; FOCHT, T. Invasão, prevenção, controle e utilização do capim-annoni-2 (*Eragrostis plana* Nees) no Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 105-114, 2007.

NESPRO. **Histórico de índices boi gordo 2014-2019**. Disponível em: http://www.ufrgs.br/nespro/historico_indices_boi_gordo.php. Acesso em: 10 jan. 2019.

- O'DONOVAN, J. T. *et al.* Field evaluation of regression equations to estimate crop yield losses due to weeds. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 85, n. 1, p. 955-962, 2005.
- PARREIRA, M. C. *et al.* Comparação entre métodos para determinar o período anterior à interferência de plantas daninhas em feijoeiros com distintos tipos de hábitos de crescimento. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 32, p. 727-38, 2014.
- PIACENTINI, L. *et al.* Software para estimativa do custo operacional de máquinas agrícolas – MAQ CONTROL. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 609-623, 2012.
- PIASECKI, C.; RIZZARDI, M. A. Economic threshold of volunteer corn GR® in soybean as a function of emergence time and origin of corn. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 36, n.1, [art.] e018177264, 2018.
- PIMENTEL, D. Introduction: Nonnative species in the world. *In*: PIMENTEL, D. (ed.). **Biological invasions: economic and environmental costs of alien plant, animal, and microbe species**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2011. 430 p.
- QUATTROCCHI, U. **CRC world dictionary of medicinal and poisonous plants**. 5. ed. Boca Raton: CRC Press, 2012. 3960 p.
- REIS, J. C. L. **Capim annoni 2: origem, morfologia, características, disseminação**. *In*: REUNIÃO REGIONAL DE AVALIAÇÃO DE PESQUISA COM ANNONI, 2., Bagé, 1993. **Anais[...]**. Bagé: Embrapa-CPPSUL, 1993. p. 5-23.
- REIS, J. C. L.; COELHO, R. W. **Controle do capim-annoni-2 em campos naturais e pastagens**. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 2000. 21 p. (EMBRAPA Clima Temperado. Circular Técnica, 22).
- SCHEFFER-BASSO, S. M. *et al.* Growth and regrowth of tough lovegrass (*Eragrostis plana* Nees). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 41, n. 2, p. 286-291, 2012.
- SCHEFFER-BASSO, S. M.; CECCHIN, K.; FAVARETTO, A. Dynamic of dominance, growth and bromatology of *Eragrostis plana* Nees in secondary vegetation area. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 3, p. 582-588, 2016.
- SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Editora UFV, 2007. 357 p.
- SILVEIRA, M. C. T. *et al.* Forage sward structure of Mulatto grass (*Brachiaria hybrid* ssp.) subjected to rotational stocking strategies. **Australian Journal of Crop Science**, Brisbane, v. 10, n. 6, p. 864-873, 2016.
- SILVEIRA, M. C. T. *et al.* Herbage accumulation and grazing losses on Mulatto grass subjected to strategies of rotational stocking management. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, n. 4, p. 242-249, 2013.
- SWANTON, C. J. *et al.* Weed thresholds: theory and applicability. **Journal of Crop Production**, London, v. 2, n. 1, p. 9-29, 1999.

UFRGS/IEPE. **Diagnóstico de sistemas de produção de bovinocultura de corte do estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 265 p. Relatório.

VIDAL, R. A. *et al.* **Nível crítico de dano de infestantes em culturas anuais**. Porto Alegre: Evangraf, 2010. 133 p.

VIDAL, R. A. *et al.* Nível de dano econômico de *Brachiaria plantaginea* na cultura de milho irrigado. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 63-69, 2004.

VIDAL, R. A.; KALSING, A.; GHEREKHLOO, J. Interferência e nível de dano econômico de *Brachiaria plantaginea* e *Ipomoea nil* na cultura do feijão comum. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 8, p.1675-1681, 2010.

ZILLER, S. R. Brasil/Brazil. *In*: ZILLER, S. R. *et al.* (ed.) **Invasive alien species in South America**. Cape Town: The global invasive species Programme, 2005. p. 43-49.

4 CAPÍTULO 2

**Avaliação do controle de capim-annoni através de equipamento de
aplicação localizada de herbicida**

RESUMO

O controle de capim-annoni após o seu estabelecimento em áreas de pastagem nativa é extremamente difícil. A limitação de métodos culturais e físicos aplicados em larga escala e os contínuos aumentos dos problemas causados pelo capim-annoni justificaram a busca de opções econômicas e exequíveis para o controle dessa planta daninha. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de controle de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) por meio de equipamento de aplicação dirigida em função de variações de herbicidas, doses, volume e época de aplicação. Cinco experimentos foram conduzidos na Estação Experimental Agrônômica da UFRGS, em Eldorado do Sul/RS. A aplicação dos tratamentos foi realizada com o equipamento de aplicação localizada Campo Limpo®. Dois experimentos avaliaram o efeito de cinco formulações de glyphosate (isopropilamina, dimetilamina, amônio, di-amônio e potássico) nas doses de 720 e 1440 g ha⁻¹ e do cletodim nas doses de 60 e 120 g ha⁻¹ em duas épocas de aplicação (verão e inverno). Outros dois experimentos avaliaram o efeito de quatro volumes de calda (8, 24, 40 e 56 L ha⁻¹) para duas formulações de glyphosate (isopropilamina e potássico) em duas épocas de aplicação (verão e inverno). No quinto experimento foi avaliado o efeito de altas doses de glyphosate (1440, 2160, 2880, 3600 e 4320 g ha⁻¹), para duas formulações de glyphosate (isopropilamina e di-amônio). Foram avaliados, avaliação visual de controle aos 7, 28, 56, 90, 150 e 360 dias após a aplicação dos tratamentos, massa seca de touceiras aos 35 e 360 DAA (dias após a aplicação) (90 dias após a roçada), produtividade de pastagem aos 35 DAA nos quatro primeiros experimentos. Além destas, no quinto experimento, avaliou-se a porcentagem de folhas verdes nas touceiras aos 90 DAA. A formulação de glyphosate sal de di-amônio apresenta eficiência de controle de capim-annoni superior em comparação com as formulações isopropilamina, dimetilamina, amônio e potássico na dose de 1440 g ha⁻¹. As aplicações de glyphosate realizadas durante o verão apresentam melhor efeito de controle de touceiras de capim-annoni e resultam em menor ocorrência de rebrote. O volume de calda de aplicação do herbicida glyphosate com o equipamento Campo Limpo® na faixa de 8 a 56 L ha⁻¹ não interfere no nível de controle de capim-annoni nas épocas de aplicação de florescimento (verão) e retomada de crescimento (inverno). O aplicador seletivo Campo Limpo® apresenta eficiência para o controle de touceiras de capim-annoni, bem como apresenta seletividade para a pastagem das áreas que recebem a aplicação do herbicida glyphosate.

4.1 Introdução

O capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) é a principal planta daninha das áreas de pastagens naturais do sul do Brasil e foi acidentalmente introduzido no estado do Rio Grande do Sul no início da década de 1950 (Medeiros *et al.*, 2009). O controle de capim-annoni após o seu estabelecimento em áreas de pastagem nativa é extremamente difícil. Entre as propostas de controle figura a rotação com culturas anuais seguida da implantação de forragens cultivadas (Reis & Coelho, 2000). No entanto, o banco de sementes de capim-annoni possibilita reinfestação nas situações em que a pastagem volta a ser estabelecida. Ainda, essa alternativa apresenta limitada viabilidade, porque requer a eliminação do campo nativo temporária ou permanentemente.

Semelhantemente ao que ocorre em outras culturas exploradas em grandes áreas, o controle químico também possui potencial para ser utilizado em capim-annoni em pastagens naturais. No entanto, considerando que a maioria das espécies forrageiras são gramíneas, assim como o capim-annoni, esse é, possivelmente, o principal motivo pelo qual não foi identificado até o momento nenhum herbicida seletivo que pudesse controlar o capim-annoni e preservar as outras espécies de gramíneas forrageiras. De modo geral, existem poucas informações sobre o efeito de herbicidas e associações com outros métodos de controle em áreas de campo nativo infestadas pela espécie.

Várias práticas de manejo do capim-annoni vêm sendo estudadas desde o final da década de 70 (Medeiros & Focht, 2007), quando o capim-annoni deixou de ser considerada forrageira e passou à espécie daninha invasora. Cultivos de pastagens anuais de inverno e verão, a utilização de controle integrado, combinando cultivos convencionais (Guterres, 1993; Reis & Coelho, 2000), além de técnicas como roçada, pastejo intenso e controle químico com pulverização de herbicidas em área total foram testados, sem muito sucesso (Goulart *et al.*, 2009). Além destes, a tentativa de utilização de protetores (anidrido naftálico, dietholate e fluxofenim) capazes de controlar o capim-annoni, sem efeito na pastagem natural, só foi verificado em condições controladas, sem efeitos promissores no aumento da seletividade a campo (Goulart *et al.*, 2012).

A limitação de métodos culturais e físicos aplicados em larga escala e os contínuos aumentos dos problemas causados pelo capim-annoni justificaram a busca de opções econômicas e exequíveis para o controle dessa planta daninha.

Assim, com o intuito de controlar a invasora sem prejudicar as espécies forrageiras, como ocorreria com a pulverização convencional, foi desenvolvido na Embrapa Pecuária Sul, o aplicador seletivo de herbicidas Campo Limpo® (Perez, 2010) (Figura 1). Este equipamento possibilita a aplicação de herbicidas por meio de cordas umedecidas e a seletividade é obtida em virtude da diferença de altura que se estabelece entre as plantas forrageiras consumidas pelo gado e as espécies indesejáveis que possuem maior altura (Perez, 2015). Os aplicadores de herbicidas baseados em pavios de corda foram introduzidos e largamente aceitos nos EUA a partir de 1978, devido a sua grande simplicidade, baixo custo operacional e economia do herbicida (Prudente & Matuo, 1985). No entanto, existem poucas informações sobre a otimização de dose e volume de calda e sobre os resultados da aplicação em diferentes épocas do ano. Da mesma forma, poucas pesquisas buscaram avaliar a eficiência de diferentes formulações de glifosato ou de produtos alternativos a este.



FIGURA 1. Aplicador seletivo de herbicidas Campo Limpo.

O herbicida glyphosate [N-(phosphonomethyl) glycine] é um dos poucos produtos com registro para uso em áreas de pastagem (AGROFIT, 2019) e, o único com recomendação de aplicação por meio do aplicador seletivo Campo Limpo®. O glyphosate é um herbicida não seletivo, sistêmico e pós-emergente que controla eficientemente um largo espectro de plantas daninhas anuais e perenes em uma ampla gama de situações agrícolas e não-agrícolas (Piola *et al.*, 2013). Várias

diferentes formulações com o herbicida glyphosate foram criadas e disponibilizadas para utilização. Dentre elas, no Brasil é possível encontrar produtos formulados com glyphosate nas formas de sais de isopropilamina, dimetilamina, amônio, di-amônio e potássio (AGROFIT, 2019). As diferentes formulações de glyphosate podem apresentar maior velocidade de translocação e ação herbicida (Molin & Hirase, 2005) e maior controle sobre algumas espécies de plantas (Jakelaitis *et al.*, 2001; Molin & Hirase, 2004; Li *et al.*, 2005). O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de controle de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) por meio de equipamento de aplicação dirigida Campo Limpo® em função de variações de herbicidas, doses, volume e época de aplicação.

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Área experimental, delineamento estatístico e condições de aplicação dos tratamentos

Cinco experimentos foram conduzidos na Estação Experimental Agronômica da UFRGS em Eldorado do Sul/RS. As coordenadas geográficas da área são 30°5'57.79"S e 51°40'38.42"O. A área experimental, de aproximadamente três hectares, foi constituída de uma área de pastagem natural (campo-nativo) com infestação média de 60% de cobertura, formada principalmente por touceiras de 25 a 40 cm de diâmetro. A área experimental apresentava em torno de 6% de declividade, no sentido transversal a aplicação dos tratamentos. Todos os experimentos foram conduzidos em delineamento blocos completos casualizados com quatro repetições. A dimensão das parcelas foi de 10 x 4,5 m.

Todas as áreas foram pastejadas por gado até aproximadamente 15 dias antes da aplicação dos tratamentos. A aplicação dos tratamentos foi realizada por meio do aplicador seletivo Campo Limpo®. Para os experimentos com interação entre formulações e épocas (formulações-verão, formulações-inverno e altas-doses), o aplicador foi calibrado para aplicar de 24 L ha⁻¹ de volume de calda antes do início da aplicação do primeiro experimento, sendo realizada uma verificação da vazão antes do início da aplicação de cada tratamento em todos os experimentos. Nos experimentos volumes-verão e volumes-inverno, a vazão da bomba era ajustada para alcançar o volume de calda específico de cada tratamento antes do início da aplicação deles. Após a aplicação de todos os tratamentos de um mesmo ingrediente ativo, o aplicador era cuidadosamente lavado por meio de um

equipamento de alta pressão com auxílio de sabão líquido, além da limpeza dos filtros e da circulação de água limpa pelo sistema durante cinco minutos a fim de se eliminar os resíduos do tratamento anterior. A velocidade de aplicação para todos os tratamentos foi de $3,67 \text{ km h}^{-1}$. Os experimentos formulações-verão e volumes-verão foram aplicados no horário das 09:00 às 21:30h com temperatura entre 26 e 32°C e umidade relativa do ar (URA) de 52 a 73%. Os experimentos formulações-inverno e volumes-inverno foram aplicados das 09:00 às 18:30h com temperatura entre 26 e 32° e URA de 67 a 80%. O experimento altas-doses foi aplicado das 09:00 às 16:30h com temperatura entre 24 e 35° e URA de 51 a 81%.

4.2.2 Experimentos de avaliação do efeito de diferentes formulações e dose de glyphosate e clethodim

Dois experimentos denominados formulações-verão e formulações-inverno foram conduzidos com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes formulações de glyphosate, além do herbicida clethodim, em duas doses. O experimento formulações-verão foi instalado no dia 18/01/17, quando as touceiras estavam iniciando a emissão de panículas, caracterizando início do estágio reprodutivo e o experimento formulações-inverno foi instalado no dia 04/09/2017, caracterizado pela retomada do desenvolvimento vegetativo das touceiras, subsequente ao período invernal quando estas estavam dormentes. As touceiras de capim-annoni apresentavam, em média 92% de folhas fotossinteticamente ativas no momento da aplicação do experimento formulações-verão. As touceiras do experimento formulações-inverno, apresentavam, em média, 45% de folhas fotossinteticamente ativas no momento da aplicação, de acordo com as avaliações realizadas no dia da aplicação.

Os tratamentos utilizados nos dois experimentos são descritos na Tabela 1. Esses experimentos foram conduzidos em esquema bifatorial com tratamento adicional ($6 \times 2 + 1$), em que o primeiro fator consistiu de seis herbicidas (cinco diferentes formulações de glyphosate e o graminicida clethodim) e o segundo fator de duas doses de cada herbicida (720 e 1440 g ha^{-1} de equivalente ácido dos herbicidas que continham glyphosate e; 60 e 120 g ha^{-1} de clethodim) além do tratamento controle sem aplicação de herbicida, totalizando 13 tratamentos.

TABELA 1. Tratamentos empregados no experimento de controle de capim-annoni em duas doses de cinco formulações de glyphosate e uma formulação de cletodim. UFRGS, Porto Alegre - RS, 2019.

Trat.	Produto comercial	Ingrediente ativo	Concentração (g L ⁻¹ de e.a.)	Dose P.C. (L ha ⁻¹) ¹	Dose e.a (g ha ⁻¹) ²
1	Gli-Up 480 SL	Glyphosate	360	2,00	720
2		Sal de Isopropilamina		4,00	1440
3	Glizmax Prime	Glyphosate	480	1,50	720
4		Sal de Dimetilamina		3,00	1440
5	Roundup WG	Glyphosate	720	1,00	720
6		Sal de Amônio		2,00	1440
7	Roundup Original DI	Glyphosate	370	1,95	720
8		Sal de Di-amônio		3,89	1440
9	Roundup Transorb R	Glyphosate	480	1,50	720
10		Sal de Potássio		3,00	1440
11	Select OnePack	Cletodim	120	0,50	60
12				1,00	120
13	Testemunha sem herbicida		0	0	0

¹. Produto comercial; ². Equivalente ácido.

4.2.3 Experimentos de avaliação de volumes de calda na aplicação de glyphosate

Dois experimentos denominados volumes-verão e volumes-inverno foram conduzidos com o objetivo de avaliar o efeito de cinco volumes de calda para duas formulações de glyphosate. Esses experimentos foram conduzidos paralelamente aos experimentos formulações-verão e formulações-inverno, respectivamente. As datas e condições de aplicação são as mesmas descritas anteriormente para os experimentos relacionados com a avaliação de formulações de glifosato.

Na Tabela 2 estão descritos os tratamentos implementados nos dois experimentos. Esses experimentos também foram conduzidos em esquema bifatorial com tratamento adicional (2x4+1). Para estes, o primeiro fator consistiu de duas formulações de glyphosate (Isopropilamina e Potássio) e o segundo fator de quatro volumes de calda herbicida (8, 24, 50 e 56 L ha⁻¹), além do tratamento controle sem aplicação de herbicida, totalizando nove tratamentos.

TABELA 2. Tratamentos empregados no experimento de controle de capim-annoni com cinco volumes de calda para duas formulações de glyphosate. UFRGS, Porto Alegre - RS, 2019.

Trat	Produto Comercial	Ingrediente ativo	Dose (L ha ⁻¹ de P.C.) ¹	Dose (g L ⁻¹ de e.a.) ²	Volume de calda (L ha ⁻¹)
1	Testemunha sem herbicida		0	0	0
2					8
3	Gli-Up 480 SL	Glyphosate	2	720	24
4		Sal de Isopropilamina			40
5					56
6					8
7	Roundup	Glyphosate	1,5	720	24
8	Transorb R	Sal de Potássio			40
9					56

¹. Produto comercial; ². Equivalente ácido.

4.2.4 Experimentos de avaliação de altas doses de glyphosate

O quinto experimento realizado foi denominado altas-doses, conduzido com o objetivo de avaliar o efeito de altas doses de glyphosate, para duas formulações de glyphosate no controle de capim-annoni. O experimento altas-doses foi instalado no dia 16/02/2018 quando as touceiras de capim-annoni estavam em pleno período reprodutivo e contavam, em média, 90% de folhas fotossinteticamente ativas no momento da aplicação.

Os tratamentos utilizados neste experimento são descritos na Tabela 3. O experimento foi conduzido em esquema fatorial duplo com tratamento adicional em que o primeiro fator consistiu de dois herbicidas formulados com diferentes formulações de glyphosate (Isopropilamina e Di-amônio) e o segundo fator consistiu de cinco doses de cada herbicida (1920, 2880, 3840, 4800 e 5760 g ha⁻¹ de equivalente ácido), além do tratamento controle sem aplicação de herbicida, totalizando 11 tratamentos.

TABELA 3. Tratamentos empregados no experimento de controle de capim-annoni com cinco doses para duas formulações de glyphosate. UFRGS, Porto Alegre - RS, 2018.

Trat.	Produto Comercial	Ingrediente ativo	Dose (L ha ⁻¹ de P.C.) ¹	Dose (g ha ⁻¹ de e.a.) ²
1	Controle		0	0
2	Gli-Up 480 SL	Glyphosate Sal de Isopropilamina	4,0	1440
3			6,0	2160
4			8,0	2880
5			10,0	3600
6			12,0	4320
7	Roundup Original DI	Glyphosate Sal de Di-amônio	3,9	1440
8			5,8	2160
9			7,8	2880
10			9,7	3600
11			11,7	4320

¹. Produto comercial; ². Equivalente ácido.

4.2.5 Avaliações e análises dos dados

A avaliação visual de controle foi realizada aos 7, 14, 28, 42, 56, 90, 150 e 360 dias após a aplicação (DAA), com base na escala de 0-100, onde 0 indica ausência de sintomas nas plantas e 100 indica morte da planta (Frans *et al.*, 1986). Aos 35 DAA foram realizadas coletas de massa de touceiras de capim-annoni e de pastagem através do uso de um quadrado amostral de 0,25 m² em todos os experimentos. Além destas, nos experimentos formulações-verão e volumes-verão, foi realizada a contagem de panículas emitidas em uma área de 0,25 m² aos 42 DAA. Aos 270 DAA foi realizada roçada em toda a área experimental de todos os experimentos a fim de se avaliar o rebrote das touceiras. Foi realizada nova avaliação de controle e uma nova coleta de massa de touceiras com um quadrado amostra de 0,5 m², 90 dias após a roçada, caracterizando a avaliação de 360 dias após a aplicação dos tratamentos citada anteriormente.

Em todas as coletas de massa, as amostras foram secas em estufa de circulação de ar a 60°C até peso constante, com posterior mensuração da massa da parte aérea. Os dados de produtividade de pastagem foram transformados para Kg ha⁻¹. Os dados de massa de matéria seca de touceiras (MMST) foram utilizados para o cálculo de porcentagem de redução da massa de touceiras de capim-annoni (PRMT) em relação ao controle, conforme a equação:

$$PRMT = ((MMST \text{ do controle} - MMST \text{ do tratamento}) / MMST \text{ do controle}) * 100$$

Para o experimento altas-doses, aos 90 DAA foi realizada a coleta de uma touceira em cada parcela, procedendo-se a separação das folhas verdes e senescentes. Posteriormente, todas as folhas foram secas em estufa de circulação de ar e, quando secas, pesadas para o cálculo da porcentagem de folhas verdes nas touceiras.

Os dados foram analisados quanto a normalidade dos resíduos de acordo com o teste de Shapiro-Wilk e quanto a homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett ($p \leq 0.05$). Quando os dados não apresentavam normalidade dos resíduos, os mesmos foram transformados pelo método Boxcox com auxílio do pacote Forecast do R (Hyndman & Khandakar, 2008). Posteriormente, as hipóteses foram testadas pelo teste F ($p < 0,05$). As análises foram complementadas por teste de comparação de médias Scott-Knott ($p < 0,05$) quando os fatores eram qualitativos e por meio de regressão quando os fatores eram quantitativos. A comparação entre as duas épocas de aplicação nos experimentos de formulações e volumes (verão e inverno) foi realizada arranjando as épocas em esquema de parcela subdividida. Foram utilizados os softwares Winstat (Machado & Conceição, 2005), SigmaPlot 14.0 e pacote ExpDes do R (Ferreira *et al.*, 2018) para auxiliar nas análises estatísticas e confecção de gráficos.

4.3 Resultados

4.3.1 Avaliação do efeito de diferentes formulações de glyphosate

4.3.1.1 Avaliação visual de controle

4.3.1.1.1 Experimento formulações-verão

Houve interação significativa entre os herbicidas e as doses ($p < 0,05$) para todas as avaliações visuais de controle realizadas no experimento formulações-verão (Figura 2 – Apêndice 1). Houve também efeito significativo de época de aplicação (verão*inverno) para todas as avaliações, exceto para as avaliações visuais de controle aos 28 DAA e aos 90 dias após a roçada (360 DAA). Para praticamente todos os tratamentos, as avaliações visuais de controle do experimento formulações-verão foram superiores aos do experimento formulações-inverno. De modo geral, na menor dose de glyphosate (720 g ha^{-1}) não se observaram diferenças significativas entre as formulações durante todas as avaliações. Para a maior dose em estudo (1440 g ha^{-1}), em todas as avaliações realizadas, o tratamento com o herbicida glyphosate sal de di-amônio apresentou

níveis de controle de touceiras de capim-annoni superiores aos demais tratamentos. A única exceção foi observada aos 7 DAA (Figura 2A), quando o tratamento com glyphosate sal de dimetilamina equiparou-se ao di-amônio. Aos 28 DAA (Figura 2B), a média de controle com o sal de di-amônio foi de 80%, aumentando para 90% nas avaliações de 56, 90 e 150 DAA (Figuras 2C, 2D e 2E). O glyphosate sal de amônio para a dose de 1440 g ha⁻¹ apresentou controle inferior a todos os outros as outras formulações de glyphosate, assemelhando-se em algumas avaliações apenas ao sal de isopropilamina.

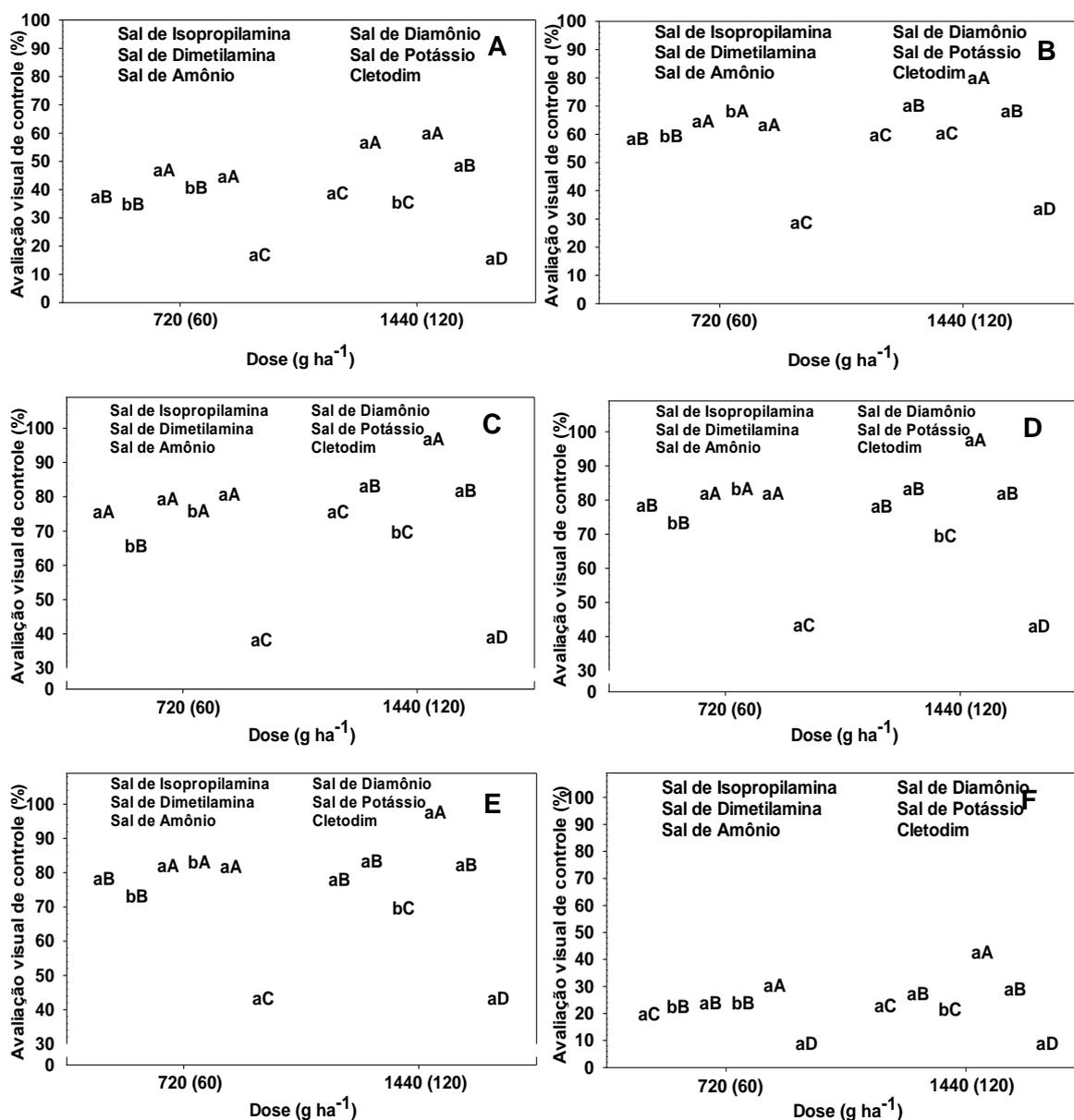


FIGURA 2. Avaliações visuais de controle de touceiras de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) aos 7 (A), 28 (B), 56 (C), 90 (D), 150 (E) dias após a aplicação (DAA) e 90 dias após a roçada (360 DAA) (F) de seis formulações de glyphosate e uma de clethodim, em duas doses

aplicados no verão-2017. UFRGS, Porto Alegre, 2019. Barras seguidas da mesma letra minúscula entre as doses e da mesma letra maiúscula entre os herbicidas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

A avaliação realizada aos 90 dias após a realização da roçada na área (360 DAA) (Figura 2F), demonstrou que houve elevada porcentagem de rebrote e rápida reestruturação das touceiras de capim-annoni. Isso aconteceu mesmo que altos níveis de controle tinham sido observados na avaliação de 150 DAA. A aplicação de glyphosate sal de di-amônio 1440 g ha^{-1} , que mostrou melhor tratamento conforme destacado anteriormente, apresentou aproximadamente 40% de controle, enquanto os demais tratamentos apresentaram apenas 20% de controle.

4.3.1.1.2 Experimento formulações-inverno

Houve interação significativa entre os herbicidas e as doses ($p < 0,05$) para todas as avaliações visuais de controle realizadas no experimento formulações-inverno (Figura 3 – Apêndice 2) instalado em setembro de 2017. Os controles visuais para este experimento que recebeu a aplicação no final do inverno, que caracteriza a retomada do desenvolvimento das espécies, foram significativamente inferiores, quando comparadas com o experimento instalado em janeiro do mesmo ano (Experimento formulações-verão) (Figura 2). As touceiras de capim-annoni apresentavam, em média, 45% de folhas fotossinteticamente ativas no momento da aplicação. Esse dado pode ajudar a explicar os reduzidos níveis das avaliações visuais de controle observadas nos tratamentos que receberam a aplicação de herbicidas.

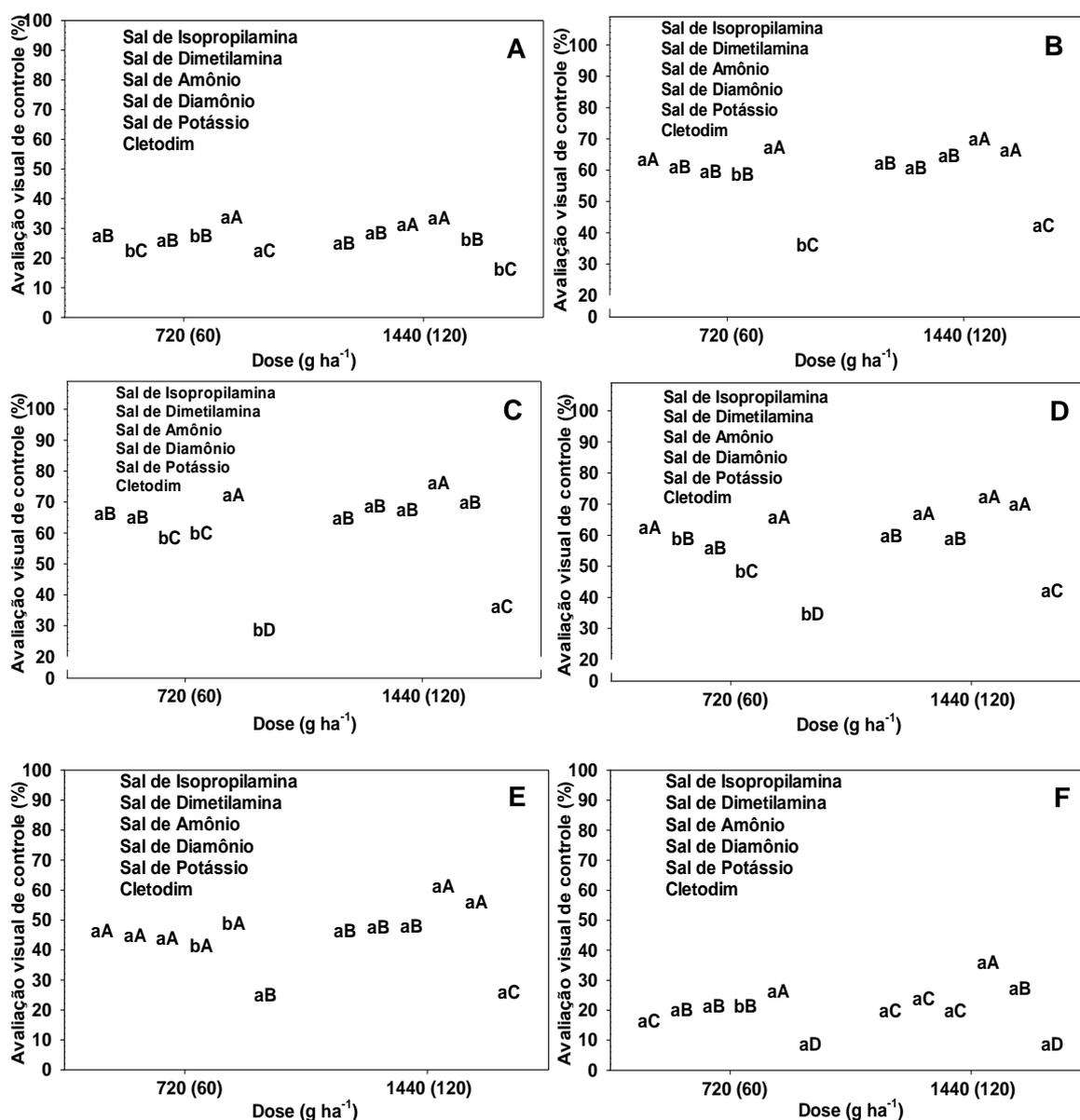


FIGURA 3. Avaliações visuais de controle de touceiras de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) aos 7 (A), 28 (B), 56 (C), 90 (D), 150 (E) dias após a aplicação (DAA) e 90 dias após a roçada (360 DAA) (F) de seis formulações de glyphosate e uma de clethodim, em duas doses no inverno-2017. UFRGS, Porto Alegre, 2019. Barras seguidas da mesma letra minúscula entre as doses e da mesma letra maiúscula entre os herbicidas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Aos 7 DAA (Figura 3A), além das baixas notas das avaliações visuais de controle, também não foram observadas diferenças entre as duas doses testadas (720 e 1440 g ha⁻¹). No entanto, para a menor dose, destacou-se o tratamento com glyphosate sal de potássio e para a maior dose, destacaram-se sal de amônio e di-amônio. Essa tendência seguiu para nas outras avaliações realizadas, aos 28, 56 e 90 DAA (Figura 3B, 3C e 3D), com o tratamento com glyphosate sal de potássio,

apresentando avaliação visual de controle de touceiras superior na menor dose e glyphosate sal de amônio e di-amônio destacando-se na maior dose.

O herbicida cletodim, assim como havia sido observado no experimento formulações-verão, não apresentou níveis satisfatórios de avaliações visuais de controle de touceiras de capim-annoni. Os maiores controles visuais observados foram aos 90 DAA (Figura 3D), quando atingiu 40% de controle na maior dose utilizada (120 g ha^{-1}). Nas demais avaliações, apesar de haver uma diferenciação entre as duas doses, os níveis de controles foram abaixo dos demais tratamentos.

Na avaliação realizada 90 dias após a roçada (360 DAA) (Figura 3F), os controles visuais foram semelhantes às observadas na aplicação de verão (Figura 2F). As notas de controle total (morte sem posterior rebrote) foram menores que às observadas nas avaliações visuais de controle no mesmo experimento, porém seguindo a tendência do que já havia sido observada. Assim, o tratamento com glyphosate sal de potássio foi o melhor dentre a menor dose, enquanto o tratamento com glyphosate sal de di-amônio destacou-se dentro da maior dose.

4.3.1.2 Redução da massa de touceiras e produtividade da pastagem

4.3.1.2.1 Experimento formulações-verão

A interação entre os herbicidas e as doses não foi significativa para redução da massa seca de touceiras de capim-annoni aos 35 DAA, mas houve interação para as outras três variáveis analisadas (Figura 4 – Apêndice 3) no experimento formulações-verão. Observou-se diferença significativa entre as épocas de aplicação para produtividade de pastagem e redução da massa de touceiras deannoni aos 90 dias após a roçada (360 DAA), porém não houve diferenciação entre as duas épocas para redução da massa de touceiras deannoni aos 35 DAA. O tratamento com glyphosate sal de di-amônio apresentou a maior redução da massa de matéria seca de touceiras de capim-annoni em relação a testemunha (Figura 4A). Esse dado reforça os dados observados para as avaliações visuais de controle (Figura 2). O tratamento com glyphosate sal de di-amônio reduziu em 50% o acúmulo de massa em apenas 35 dias após a aplicação, na média das duas doses utilizadas. Os tratamentos com sal de isopropilamina, amônio e potássio apresentaram redução de aproximadamente 30%, enquanto o sal de dimetilamina e o cletodim tiveram apenas 15% de redução em relação à testemunha. A maior

dose foi mais eficaz em reduzir o acúmulo de massa de touceiras, independente do herbicida utilizado.

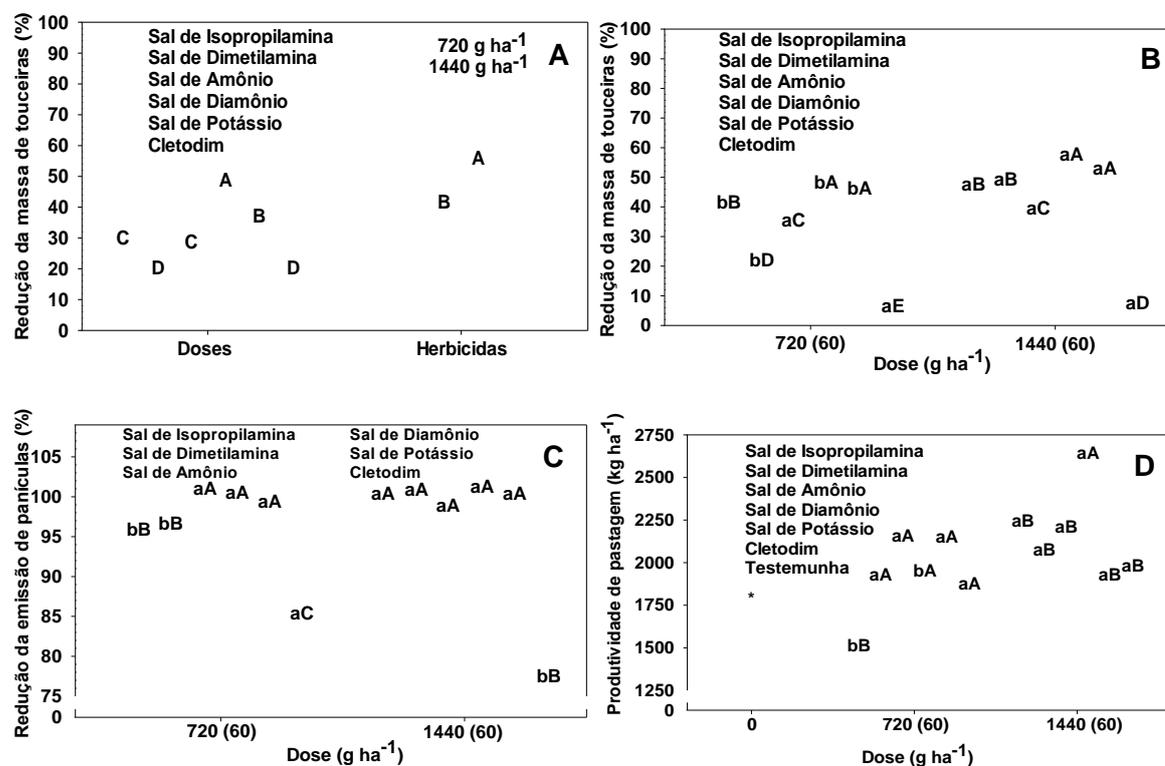


FIGURA 4. Redução da massa de touceiras de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) aos 35 DAA (A) e 90 dias após roçada (B), redução da emissão de panículas (C) e produtividade da pastagem (D) aos 35 DAA após a aplicação dos seis herbicidas em duas doses no verão-2017. UFRGS, Porto Alegre, 2019. Barras seguidas da mesma letra minúscula entre as doses e da mesma letra maiúscula entre os herbicidas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

A massa de matéria seca de touceiras de capim-annoni em relação a testemunha aos 90 dias após a roçada (360 DAA) (Figura 4B) apresentou reduções variando de 45 a 55% nas duas doses testadas para os tratamentos com glyphosate sal de di-amônio e potássio, sendo superiores aos demais tratamentos testados. Os dois tratamentos com herbicida cletodim apresentaram redução de apenas 5% na massa touceiras em relação à testemunha, ratificando a sua baixa eficiência no controle de capim-annoni nessa modalidade de aplicação, já demonstrada pelas baixas notas nas avaliações visuais de controle discutidas anteriormente.

A emissão de panículas aos 35 DAA foi totalmente inibida com a aplicação do herbicida glyphosate na maior dose, independente da formulação (Figura 4C).

No entanto, na menor dose utilizada para os tratamentos com glyphosate, os tratamentos com sais de isopropilamina e dimetilamina não foram capazes de inibir completamente a emissão das mesmas. A produtividade de pastagem foi superior à testemunha, que produziu aproximadamente 1700 Kg ha⁻¹ de massa seca, para todos os tratamentos, com exceção de isopropilamina na menor dose. Mais uma vez, glyphosate sal de di-amônio na maior dose utilizada foi superior aos demais tratamentos permitindo um acúmulo de 800 kg ha⁻¹ a mais que a testemunha.

4.3.1.2.2 Experimento formulações-inverno

A interação entre os herbicidas e as doses foi significativa ($p < 0,05$) para as duas avaliações de redução da massa de touceiras de capim-annoni em relação à testemunha, mas não se observou interação para produtividade de pastagem, nas avaliações realizadas no experimento formulações-inverno (Figura 5 – Apêndice 4). Os dados de redução da massa de touceiras apresentaram resultados diferentes das avaliações visuais de controle apresentadas acima. Aos 35 DAA (Figura 5A), na menor dose em estudo, a maior redução no acúmulo de massa de touceiras de capim-annoni foi promovida pelo tratamento com glyphosate sal de isopropilamina. Para a maior dose, a maior redução na massa de touceiras foi apresentada pelo sal de di-amônio. No entanto, o tratamento com glyphosate sal de potássio, que havia demonstrado avaliação visual de controle semelhante aos melhores tratamentos, apresentou uma redução de touceiras de apenas 20%, de forma semelhante aos tratamentos com glyphosate sal de dimetilamina e ao cletodim.

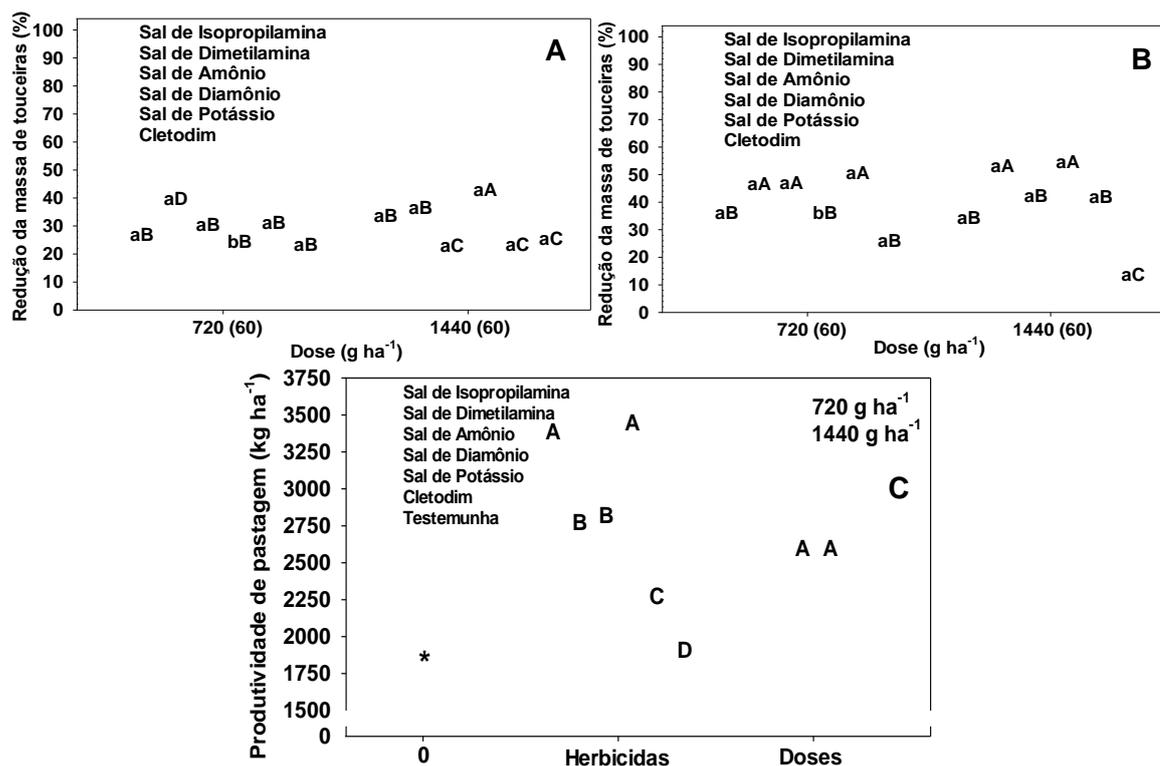


FIGURA 5. Redução da massa de touceiras de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) aos 35 DAA (A) e 90 dias após roçada (360 DAA) (B) e produtividade da pastagem (C) aos 35 DAA após a aplicação dos seis herbicidas em duas doses no inverno-2017. UFRGS, Porto Alegre, 2019. Barras seguidas da mesma letra minúscula entre as doses e da mesma letra maiúscula entre os herbicidas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Para a avaliação de redução no acúmulo de massa de touceiras de capim-annoni realizada aos 90 dias após a roçada (360 DAA) (Figura 5B), não se observaram diferenças consistentes entre as duas doses testadas. No entanto, nessa avaliação, o tratamento com glyphosate sal de potássio, demonstrou controles superiores para a menor dose em estudo, igualando-se aos tratamentos com glyphosate sal de dimetilamina e amônio. Para a maior dose, além do sal de di-amônio, o tratamento com glyphosate sal de dimetilamina também apresentou aproximadamente 50% de redução da massa de touceiras em relação à testemunha.

A produtividade de pastagem não apresentou interação significativa entre os herbicidas e as doses utilizadas (Figura 5C). Os tratamentos que propiciaram as maiores produtividades de pastagem foram os que receberam a aplicação de glyphosate sal de isopropilamina e di-amônio, coincidindo com os dados de redução

da massa de touceiras em relação à testemunha aos 360 DAA. Não foram observadas diferenças na produtividade de pastagem entre as médias das duas doses.

4.3.2 Avaliação do efeito do volume de calda

4.3.2.1 Avaliações visuais de controle

4.3.2.1.1 Experimento volumes-verão

A interação entre os herbicidas e os volumes de calda foi significativa ($p < 0,05$) para todas as avaliações visuais de controle realizadas no experimento volumes-verão (Figura 6 – Apêndice 5), instalado em janeiro de 2017. Observou-se também diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as duas épocas de aplicação dos herbicidas para todas as avaliações visuais de controle. Para praticamente todos os tratamentos, as avaliações visuais do experimento volumes-verão foram superiores aos do experimento volumes inverno.

Os tratamentos em que foi utilizado o herbicida glyphosate em formulação sal de isopropilamina apresentaram melhores níveis de controle com o volume de calda de 56 L ha^{-1} . Esse tratamento foi superior aos demais desde a avaliação realizada aos 7 DAA (Figura 6A) e persistiu até a avaliação de 90 dias após a roçada (360 DAA). Para os tratamentos com herbicida sal de potássio, não se observou variações significativas entre os volumes de calda testados em todas as avaliações visuais de controle (Figura 6).

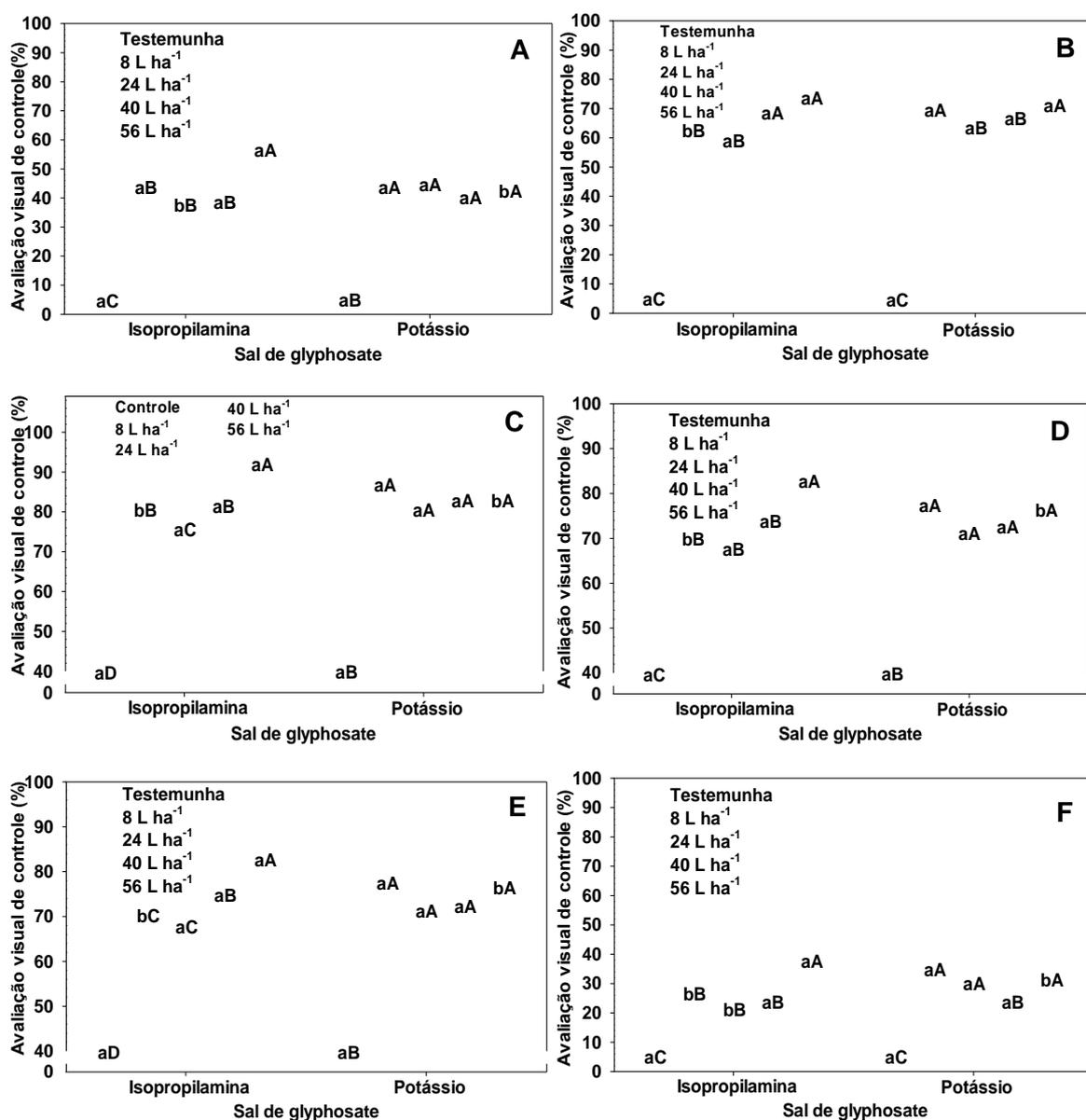


FIGURA 6. Avaliações visuais de controle de touceiras de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) aos 7 (A), 28 (B), 56 (C), 90 (D), 150 DAA (E) e 90 dias após roçada (360 DAA) (F) após a aplicação de dois herbicidas em quatro volumes de calda no verão-2017. UFRGS, Porto Alegre, 2019. Barras seguidas da mesma letra minúscula entre os sais de glyphosate e da mesma letra maiúscula entre os volumes não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

4.3.2.1.2 Experimento volumes-inverno

A interação entre os herbicidas e os volumes de calda foi significativa ($p < 0,05$) somente para as avaliações visuais de controle realizadas aos 28, 90 e 360 DAA (Figura 7 – Apêndice 6) e na produtividade de pastagem (Figura 9) no experimento volumes-inverno. De maneira geral, não foram observadas diferenças entre as formulações e volumes de calda para as avaliações visuais de controle. A

avaliação visual de controle, manteve-se em 60% nas avaliações de 28, 56 e 90 DAA (Figura 7B, 7C e 7D), diminuído para aproximadamente 40% na avaliação de 150 DAA para todos os tratamentos, exceto tratamento controle (Figura 7E). No entanto na avaliação de 90 dias após a roçada (360 DAA) (Figura 7F), os resultados observados no experimento formulações-verão (Figura 6) voltou a ser observado. Para os tratamentos com glyphosate sal de isopropilamina, o volume de calda de 56 L ha⁻¹ apresentou controle de capim-annoni superior aos demais tratamentos, com aproximadamente 25%, enquanto os demais tratamentos apresentaram aproximadamente 15% de controle. Já para os tratamentos com glyphosate sal de potássio, nenhuma diferença entre os tratamentos foi observada.

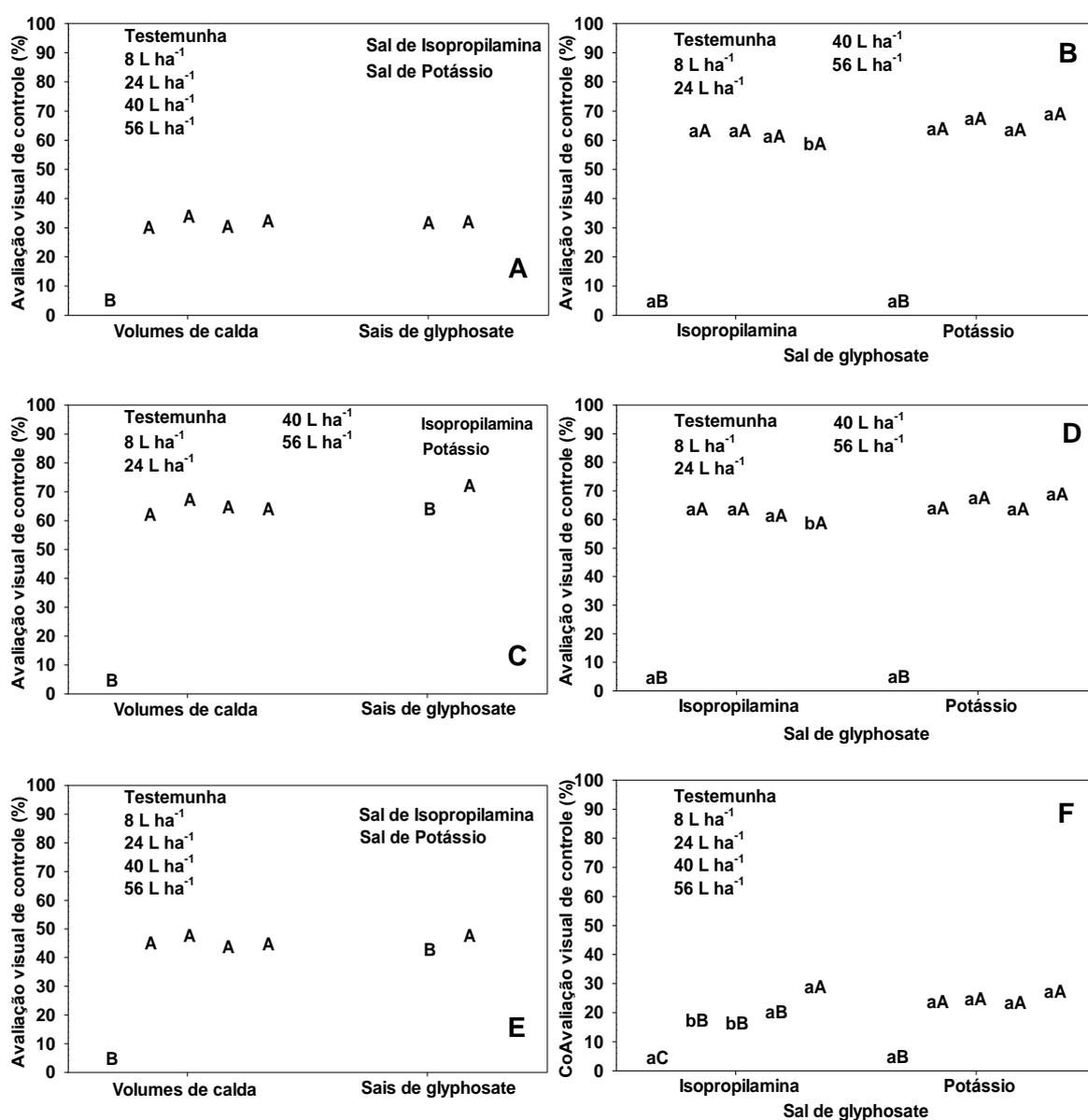


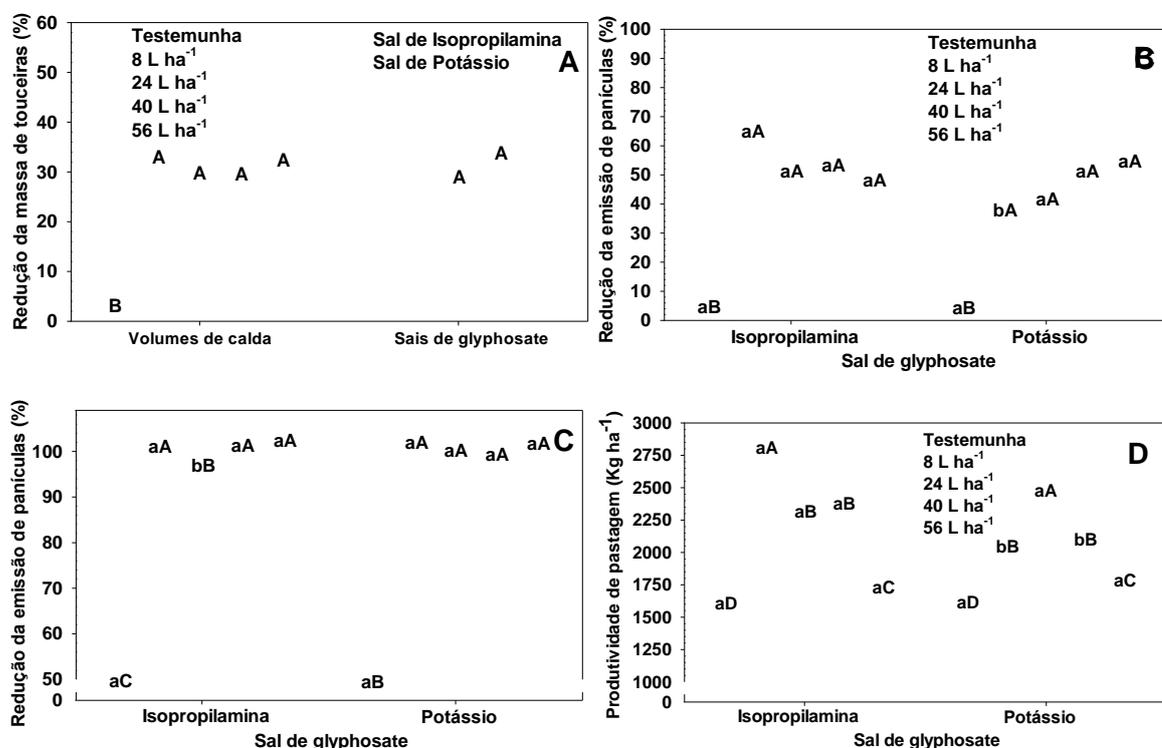
FIGURA 7. Avaliações visuais de controle de touceiras de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) aos 7 (A), 28 (B), 56 (C), 90 (D), 150 DAA (E) e 90 dias após roçada (360 DAA) (F) após a aplicação de dois herbicidas em

quatro volumes de calda no inverno-2017. UFRGS, Porto Alegre, 2019. Barras seguidas da mesma letra minúscula entre os sais de glyphosate e da mesma letra maiúscula entre os volumes não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

4.3.2.2 Redução da massa de touceiras e produtividade da pastagem

4.3.2.2.1 Experimento volumes-verão

No experimento volumes-verão, houve interação significativa entre os herbicidas e volumes de calda ($p < 0,05$) para todas as avaliações, exceto para redução da massa de touceiras de capim-annoni aos 35 DAA realizadas (Figura 8 – Apêndice 7). Para a análise entre épocas de aplicação também houve efeito significativo ($p < 0,05$) somente para produtividade de pastagens. Para redução da massa de touceiras de capim-annoni aos 35 DAA não se observou diferença estatística tanto para a média da redução de massa de touceiras dos quatro volumes de calda quanto para a média dos dois herbicidas utilizados, seguindo a tendência de baixa variação entre os tratamentos observados nas avaliações de controle (Figura 6).



mesma letra minúscula entre as doses e da mesma letra maiúscula entre os herbicidas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

A redução da massa de touceiras de capim-annoni realizada aos 360 DAA também não apresentou diferença estatística entre os tratamentos do mesmo sal de glyphosate. A interação entre os fatores herbicida*volume ocorreu devido a diferença entre os tratamentos com volume de calda de 8 ha^{-1} , sendo que o glyphosate sal de isopropilamina foi superior ao glyphosate sal de potássio. Para a redução da emissão de panículas (Figura 8C), também não foram observadas diferenças consistentes entre os volumes de calda.

A produtividade da pastagem observada para o tratamento com volume de calda de 56 L ha^{-1} com o herbicida glyphosate sal de isopropilamina apresentou comportamento oposto às para avaliações visuais de controle observadas nesse tratamento (Figura 8D). A produtividade de pastagem no volume de calda de 56 L ha^{-1} foi de 1600 Kg ha^{-1} , ligeiramente superior à testemunha e inferior aos demais tratamentos.

4.3.2.2 Experimento volumes-inverno

Houve interação significativa entre os herbicidas e os volumes de calda ($p < 0,05$) somente para produtividade de pastagens aos 35 DAA no experimento volumes-inverno (Figura 9 – Apêndice 8). Nas avaliações de redução da massa de touceiras de capim-annoni em relação à testemunha também foi observada a ausência de diferenças entre os tratamentos que receberam a aplicação de herbicidas assim como observado para os controles visuais (Figura 9A e 9B). A única variação entre as duas amostragens é em relação ao percentual observado. Para a avaliação realizada aos 35 DAA (Figura 9A), observa-se em média 25% de redução de acúmulo de massa em relação ao tratamento controle que não recebeu aplicação de herbicidas. Já na avaliação realizada aos 360 DAA, o percentual aumentou para em média 40%. Essa diferença possivelmente foi ocasionada pelo maior acúmulo de massa das touceiras de capim-annoni do tratamento controle, que não tinha impeditivos para o seu crescimento.

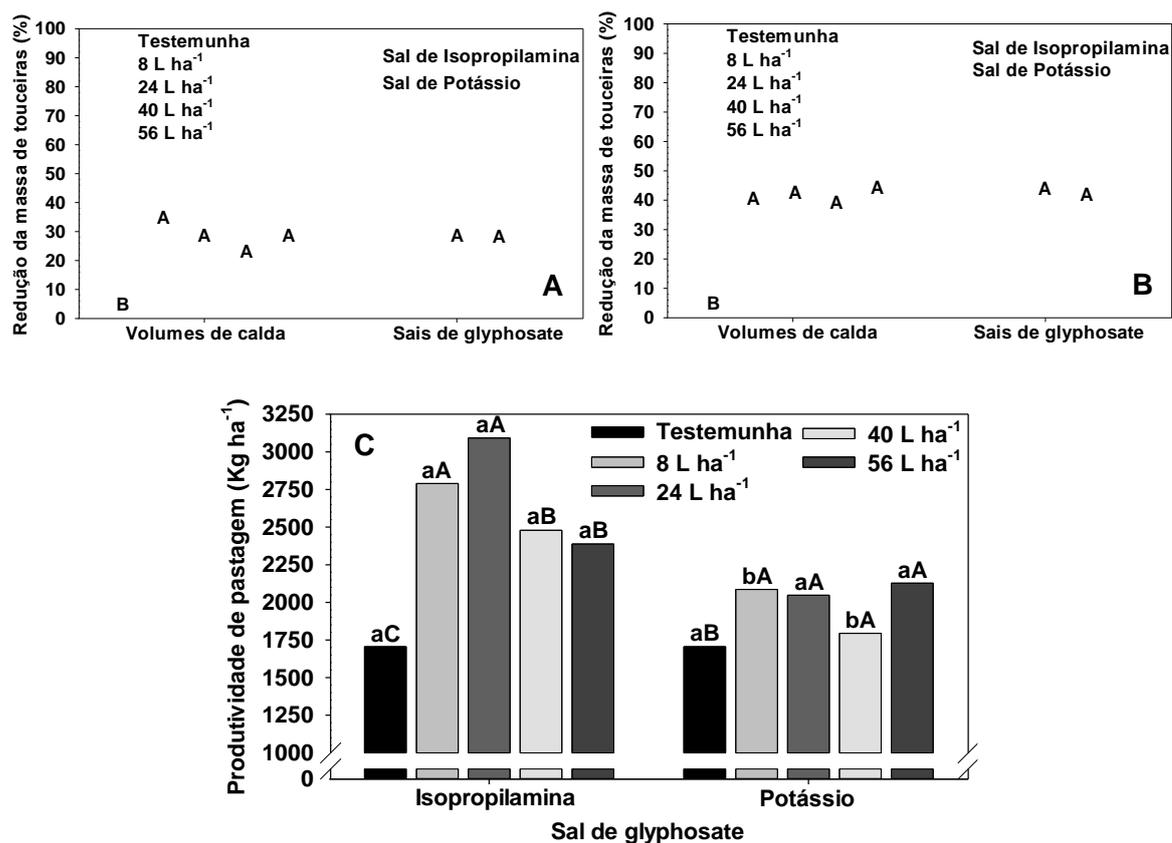


FIGURA 9. Redução da massa de touceiras de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) aos 35 (A) e 90 dias após roçada (360 DAA) (B) e produtividade da pastagem (C) aos 35 DAA após a aplicação de dois herbicidas em quatro volumes de calda no inverno-2017. UFRGS, Porto Alegre, 2019. Barras seguidas da mesma letra minúscula entre as doses e da mesma letra maiúscula entre os herbicidas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Para os tratamentos que receberam a aplicação do herbicida glyphosate sal de isopropilamina observou-se diferenças significativas quanto a produtividade de pastagem aos 35 DAA. Nos tratamentos com volumes de calda de 8 e 24 L ha⁻¹, observou-se acúmulo de massa seca de pastagem de, em média, 500 kg ha⁻¹ a mais que os tratamentos com volumes de calda de 40 e 56 L ha⁻¹ e com mais de 1000 kg ha⁻¹ de diferença quando comparadas à testemunha. Apesar de o mesmo efeito não ter sido observado para os tratamentos que receberam a aplicação do herbicida glyphosate sal de potássio, a observação visual de morte de áreas de pastagem nas parcelas que receberam a aplicação de 56 L ha⁻¹ foi novamente constatada, como discutida acima, nos resultados do experimento volumes-verão.

4.3.3 Avaliação do efeito de altas doses de glyphosate

A interação entre os herbicidas e doses foi significativa ($p < 0,05$) para todas as avaliações visuais de controle realizadas no experimento 5 (Figura 10). Em virtude da baixa eficiência de controle observada nos experimentos de formulações-verão e formulações-inverno para a dose de 720 g ha^{-1} , optou-se por não utilizar a mesma neste experimento, haja visto que o objetivo era identificar qual dose superior a 1440 g ha^{-1} poderia oferecer melhor eficiência de controle de touceiras de capim-annoni.

Em todas as avaliações visuais de controle realizadas (Figura 10), os níveis de controle dos tratamentos com glyphosate sal de di-amônio foram superiores aos tratamentos com glyphosate sal de isopropilamina. A partir da avaliação de 90 DAA (Figura 8D), a dose de 2880 g ha^{-1} , que equivale a aproximadamente 8 L ha^{-1} de um produto formulado de glyphosate, as notas de controle atingiram aproximadamente 100% de controle, diferenciando-se da dose anterior, de 2160 g ha^{-1} . Os tratamentos em que foi utilizada o sal de isopropilamina não atingiram níveis de avaliação visual de controle de 100% mesmo na maior dose utilizada, que equivale a 50% da calda aplicada, de 24 L ha^{-1} . Da mesma maneira que o glyphosate sal de di-amônio, o sal de isopropilamina estabilizou os níveis de controle a partir da dose de 2880 g ha^{-1} , sem incrementos no mesmo a partir desta dose. A avaliação visual de controle aos 360 DAA indicou um alto índice de controle total de touceiras de capim-annoni (Figura 10F).

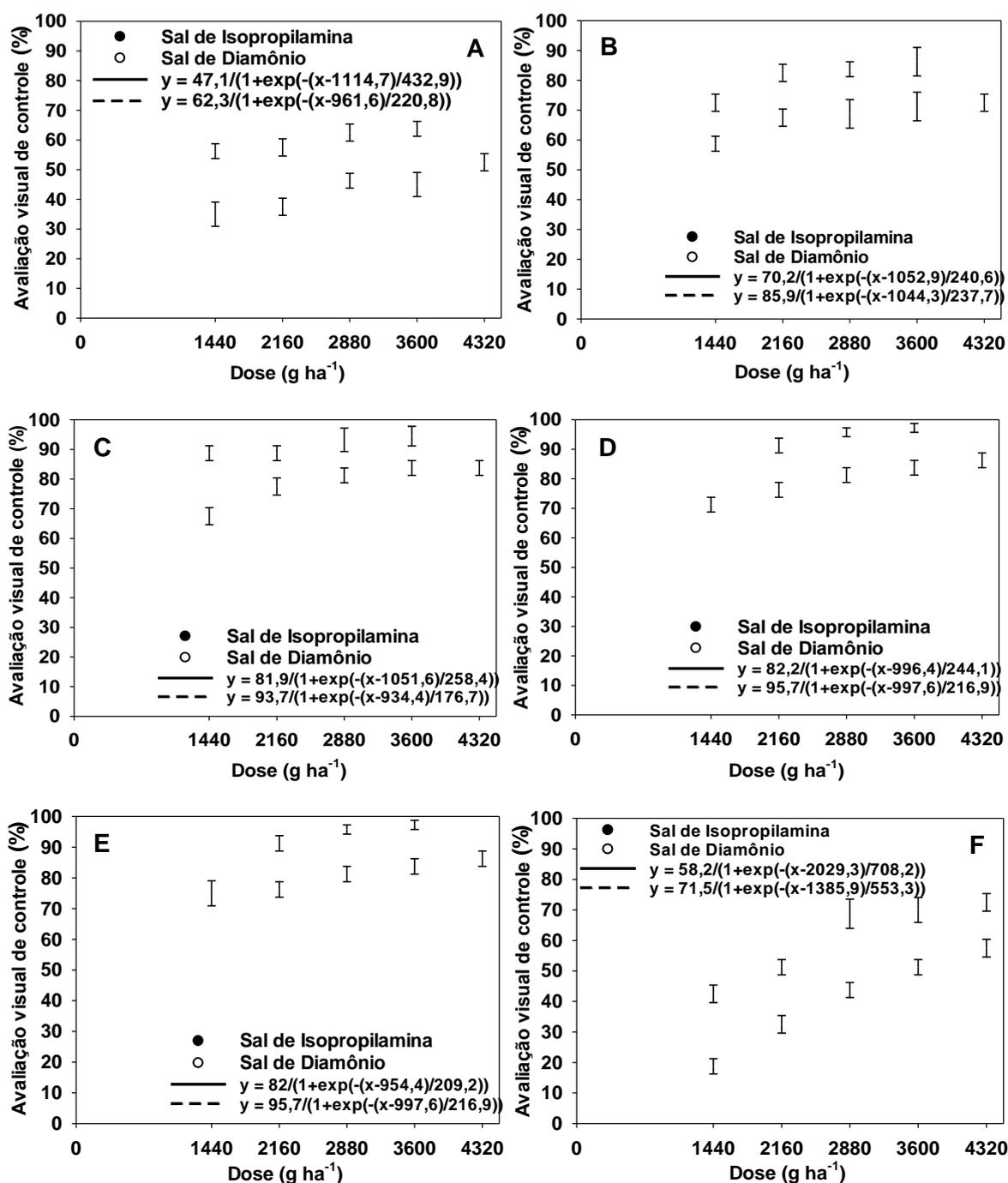


FIGURA 10. Avaliação visual de controle de touceiras de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) aos 7 (A), 28 (B), 56 (C), 90 (D), 150 (E) e 90 dias após roçada (360 DAA) (F) após a aplicação de dois herbicidas em cinco doses no verão-2018. UFRGS, Porto Alegre, 2019. Barras verticais representam o intervalo de confiança ($p < 0,05$).

Para todas as avaliações de redução de massa de touceiras e produtividade de pastagem realizadas neste experimento, a interação foi significativa entre os herbicidas e as doses ($p < 0,05$) (Figura 11). Uma avaliação extra realizada com o intuito de quantificar a diferença de controle entre as doses dos herbicidas foi a

avaliação de quantidade relativa de folhas verdes e secas, por meio da massa seca das mesmas (Figura 11C). Para esta avaliação, observa-se que o tratamento controle (dose 0) apresentava em torno de 85% de folhas verdes aos 90 DAA. Para o sal de isopropilamina na menor dose de herbicida testada, ainda restavam mais de 20% da touceira verde, enquanto para mesma dose do sal de di-amônio, quantificou-se menos de 10% de folhas verdes. A partir da dose de 2880 g ha⁻¹ as touceiras de capim-annoni nas parcelas que receberam a aplicação de glyphosate sal de di-amônio estavam totalmente secas, enquanto as do tratamento com glyphosate sal de isopropilamina ainda permaneciam com aproximadamente 10%.

A redução da massa de matéria seca das touceiras que receberam a aplicação não foi incrementada com o aumento das doses na avaliação realizada as 35 DAA. (Figura 11A). Apesar da diferenciação entre os herbicidas já observada para quase todas as avaliações realizadas nesse experimento, a triplicação das doses não gerou um efeito no acúmulo de massa nessa avaliação. Para a avaliação realizada aos 360 DAA (Figura 11B) os dados observados reforçam os dados da variável avaliação visual de controle nesse mesmo experimento. Enquanto a menor dose utilizada, a mesma utilizada nos experimentos formulações-verão e formulações-inverno, observa-se apenas 50% de redução da massa de touceiras, na dose de 2880 g ha⁻¹ a redução chega a 85% com o herbicida glyphosate sal de di-amônio e a 75% com o sal de isopropilamina.

O incremento das doses dos herbicidas não propiciou aumento na produtividade de pastagem a partir da dose de 1440 g ha⁻¹, apesar de se observar diferenciação entre as duas formulações de glyphosate estudadas. No entanto, quando os tratamentos com herbicida são comparados com o tratamento controle, observa-se incrementos de 500 e 100 Kg ha⁻¹ de massa seca de pastagem, para glyphosate sal de isopropilamina e di-amônio, respectivamente. Isso novamente indica que o controle ou a redução do crescimento e desenvolvimento das touceiras provocada pela aplicação dos herbicidas beneficia as espécies do estrato inferior do campo nativo, permitindo que elas possam se desenvolver com menor interferência do capim-annoni. Ainda, a seletividade para qual se propõe a utilização do aplicador Campo Limpo® foi reiteradamente observada nesse último experimento.

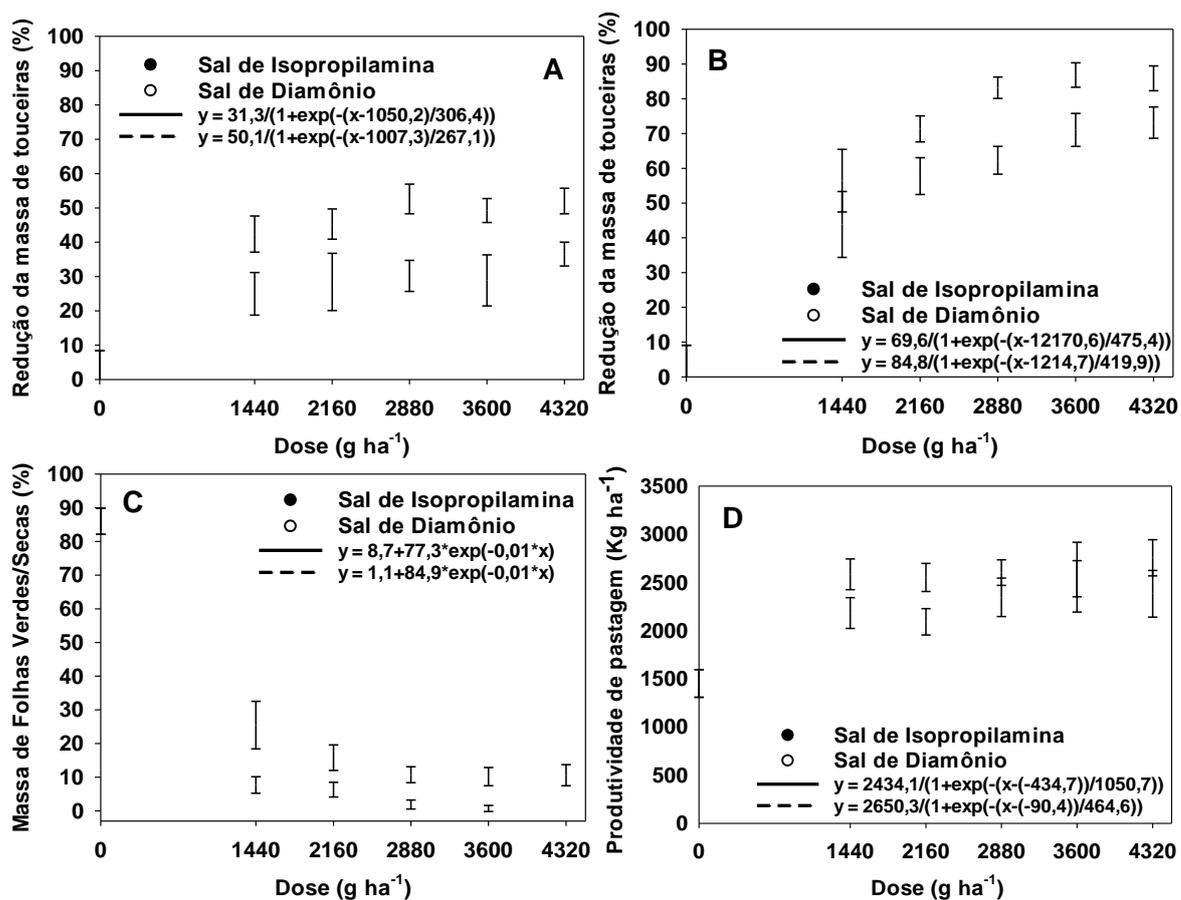


FIGURA 11. Redução da massa de touceiras de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) aos 35 DAA (A) e 90 dias após roçada (360 DAA) (B), redução da emissão de panículas (C) e produtividade da pastagem (D) aos 35 DAA após a aplicação dos dois herbicidas em cinco doses no verão-2018. UFRGS, Porto Alegre, 2019. Barras verticais representam o intervalo de confiança ($p < 0,05$).

4.4 Discussão

Os resultados obtidos indicam a eficiência do equipamento Campo Limpo[®] no controle do capim-annoni e proporcionam o conhecimento de especificações em relação as principais variáveis da aplicação. Além do melhor controle observado para os tratamentos com glyphosate sal de di-amônio, é importante também destacar que o glyphosate formulado com sal de isopropilamina, possivelmente o mais utilizado dentre as formulações disponíveis no mercado, apresentou para maior parte das análises eficiência inferior às demais formulações testadas, demonstrando não ser a melhor alternativa para essa modalidade de aplicação. Além disso, outro resultado importante é a observância da melhor época de aplicação para obter-se um controle efetivo da planta invasora. Desta forma, aplicações no inverno caracterizada por períodos de dormência ou menor

crescimento da planta, apresentaram menor eficiência de controle e não se justificam pois não são capazes de matar todos os perfilhos que compõem uma touceira, resultando em altos índices de rebrotes das mesmas posteriormente. A ausência de diferenciação de volumes de calda de 8 a 56 L ha⁻¹ indica que existe possibilidade de adequar o volume utilizado na aplicação conforme necessidades específicas sem prejuízos a eficiência da operação.

Moléculas de herbicidas ácidos fracos, como o glyphosate, geralmente são modificadas com o intuito de melhorar sua estabilidade na formulação do produto comercial, com conseqüente melhoria de sua efetividade no controle de plantas daninhas (Travlos *et al.*, 2017). Em relação a molécula do herbicida glyphosate, o hidrogênio carboxílico ácido da molécula original é geralmente substituído por íons de um sal (Nordby & Hager, 2000). Desta forma, várias diferentes formulações com o herbicida glyphosate foram criadas e disponibilizadas para uso. No Brasil, é possível encontrar produtos formulados com glyphosate nas formas de sais de isopropilamina, dimetilamina, amônio, di-amônio e potássio. Os produtos formulados como sal de isopropilamina são os mais numerosos (AGROFIT, 2019) e conseqüentemente os mais utilizados. Vários trabalhos científicos indicam a inexistência de variações significativas, em termos de eficiência de controle de plantas daninhas, entre os sais de glyphosate (Richardson *et al.*, 2003; Li *et al.*, 2005; Mueller *et al.*, 2006; Agostinetto *et al.*, 2009a; Agostinetto *et al.*, 2009b; Barroso *et al.*, 2014). Para o equipamento de aplicação Campo Limpo®, por exemplo, a recomendação contida no manual menciona somente a utilização do glyphosate sal de isopropilamina (Grazmec, 2019), sem menção às demais formulações. No entanto, assim como os resultados obtidos no presente trabalho, situações de variação de efeito entres as formulações de glyphosate já foram relatados em outros trabalhos (Molin & Hirase, 2004; Scherner *et al.*, 2014; Oliveira *et al.*, 2015; Costa *et al.*, 2017; Travlos *et al.*, 2017). Assim, pode-se inferir que, apesar da ausência de diferenciação entre os sais em grande parte dos casos, em algumas situações específicas a utilização de outras formulações de glyphosate podem resultar em variações significativas no controle de plantas daninhas.

Ao comparar diferentes formulações de sal com o mesmo ingrediente ativo, o equivalente ácido da formulação deve ser levado em consideração (Travlos *et al.*, 2017). Esse cuidado foi tomado no presente trabalho, equiparando-se as doses dos diferentes sais de glyphosate para uma mesma quantidade de equivalente ácido

(Tabelas 1, 2 e 3). Desta forma, elimina-se a possibilidade de que as diferenças em relação a eficiência de controle entre as formulações ocorram devido a uma quantidade maior do ácido parental nos diferentes produtos formulados aplicados.

O método de aplicação do aplicador seletivo Campo Limpo[®] que atua através do contato das plantas com cordas embebidas com a calda herbicida é totalmente diferente do método convencional de aplicação por meio da pulverização no qual existe quebra da calda herbicida em gotas. Essa diferença prejudica a comparação de resultados com outros trabalhos, pois a forma de deposição da calda é diferente. Para o equipamento Campo Limpo[®], por exemplo, não ocorre perda de calda via deriva, processo muito comum em pulverizações, pois a calda é depositada diretamente nas folhas da espécie. Essa diferença metodológica é uma das razões que possibilita a utilização de diminutos volumes de calda (8 a 56 L ha⁻¹) em comparação com aplicações realizadas através de pulverizações onde os volumes de calda são de aproximadamente 80 a 200 L ha⁻¹. Levando em consideração esses fatores, as diferenças no controle de capim-annoni entre as formulações utilizadas nos experimentos formulações-verão, formulações-inverno e altas-doses, podem ter ocorrido em função do tempo de evaporação da calda herbicida e das variações de absorção e translocação do produto interceptado. A evaporação foi avaliada em um trabalho com três sais de glyphosate (isopropilamina, amônio e potássio) na superfície foliar de duas espécies de plantas daninhas (*Bidens pilosa* L. e *Cenchrus echinatus* L.). Os resultados mostraram que a formulação sal de potássio apresentou o maior tempo de evaporação, enquanto sal de isopropilamina evaporou mais rapidamente em ambas as espécies (Oliveira *et al.*, 2015). A área de contato e consequente deposição da calda herbicida, é sensivelmente menor para aplicações com o equipamento Campo Limpo[®] comparada às pulverizações, como a utilizada no trabalho citado acima. Dessa forma, espera-se que essas diferenças de tempo de permanência da calda na superfície da folha sejam acentuadas para as condições de aplicação do presente trabalho, o que pode explicar as diferenças observadas no presente trabalho (Figuras 2, 3, 4, 5, 10 e 11). A eficiência de um herbicida no controle das espécies daninhas está diretamente ligada a alguns fatores críticos como o adequado contato com o organismo alvo, absorção pelos órgãos que recebem a aplicação e translocação sem perder seu efeito tóxico até o local da ação (Oliveira *et al.*, 2015).

Variações na suscetibilidade ao glyphosate entre as espécies de plantas daninhas também são causados por redução na absorção e translocação do herbicida. Diferenças entre as formulações de sal de isopropilamina e di-amônio, mesmas formulações de glyphosate utilizadas nos experimentos altas-doses foram relatadas por Li *et al.* (2005). O herbicida glyphosate sal de di-amônio apresentou translocação para as raízes 27% maior 74 horas após a aplicação de 750 g ha⁻¹ nas espécies *Abutilon theophrasti* Medik., *Amaranthus rudis* L. e *Ipomoea lacunose* L.). No entanto, as pequenas diferenças iniciais na absorção e translocação nas espécies não afetaram a eficácia global das formulações de glyphosate. Apesar da ausência de diferenciação para o controle, a maior translocação do glyphosate sal de di-amônio pode ajudar a explicar o maior os maiores valores de avaliação visual de controle e redução da massa de touceiras em relação à testemunha, tanto nos experimentos formulações-verão, formulações-inverno, bem como no experimento altas-doses (Figuras 2, 4, 5, 10 e 11). Como já mencionado, as diferenças no modo de aplicação são grandes para os dois experimentos, mas devido ao fato que o volume de aplicação da Campo Limpo® é oito vezes menor, essas pequenas diferenças podem ter um efeito mais pronunciado.

Outro estudo comparou a eficácia de três diferentes formulações de glyphosate (sal de isopropilamina, sal de trimesium e tetraoxosulfate) no controle de *Sida spinosa* L., *Ipomoea hederacea* var. *integriuscula* Grey, *Senna obtusifolia* (L.) H.S.Irwin & Barneby) e *Cyperus rotundus* L.) (Molin & Hirase, 2004). Para todas as espécies, os valores de GR₅₀ (dose que proporciona 50% da redução da massa em relação à testemunha) para tetraoxosulfate foram em torno de três vezes menores que os de isopropilamina, além de que a *Ipomoea* foi mais suscetível ao trimesium do que ao sal de isopropilamina. Estes resultados confirmam que a eficácia do glyphosate pode ser reforçada por formulações que aparentemente melhoram a absorção de ácido (Molin *et al.*, 2003), porém ocorrem variações específicas para cada espécie (Satchivi *et al.*, 2000), como pode ter ocorrido no presente trabalho.

Além dos fatores discutidos acima, a eficácia do herbicida pode ser significativamente influenciada pelas condições ambientais, adjuvantes e qualidade da água (Devkota & Johnson, 2016). Para o herbicida glyphosate, em especial, a eficácia é largamente influenciada pela temperatura do ar e intensidade da luz (Coupland, 1983; Masiunas & Weller, 1988). Essas condições, aliadas a reduzida

proporção de massa verde no momento da aplicação explicam os reduzidos controles observados no experimento onde a aplicação foi realizada no inverno em comparação a aplicação no verão (Figura 3 e 5).

A avaliação visual de controle aos 90 dias após a roçada - 360 DAA tanto dos experimentos de formulações-verão e formulações-inverno, indicavam alto índice de rebrote das touceiras de capim-annoni (Figuras 2E, 3E, 4B e 5B). Isso indica que as touceiras eram parcialmente controladas logo após a aplicação dos tratamentos, mas voltavam a se desenvolver na nova estação de crescimento. Esse problema foi parcialmente solucionado com o aumento das doses avaliadas no experimento altas-doses, especialmente para os tratamentos com o herbicida glyphosate sal de di-amônio (Figuras 10 e 11). Nesse experimento observou-se níveis de 70% de controle nessa avaliação, enquanto glyphosate sal de isopropilamina atingiram apenas 55% na maior dose testada (4320 g ha^{-1}) (Figura 10E). Esses dados são praticamente o dobro do observado para o experimento formulações-verão, na dose de 1440 g ha^{-1} que teve a aplicação realizada na mesma estação de crescimento. De qualquer forma, mesmo com uma dose excessivamente alta de glyphosate (2880 g ha^{-1}) nem todas as touceiras foram controladas, apresentando ainda praticamente 1/3 de rebrote. Esse dado reforça a necessidade da adoção de outros manejos da espécie, associado a repetidas aplicações na mesma área durante o ano.

A emissão de panículas aos 35 DAA no experimento formulações-verão foi totalmente inibida onde aplicou-se o herbicida glyphosate na maior dose (1440 g ha^{-1}), independente da formulação (Figura 4C). No entanto, na menor dose utilizada para os tratamentos com glyphosate, os tratamentos com sais de isopropilamina e dimetilamina não foram capazes de inibir completamente a emissão das mesmas. Esses dados suportam a tese de que o crescimento e desenvolvimento das touceiras de capim-annoni não foram paralisados após a aplicação da maioria dos tratamentos herbicidas, corroborando com os dados de massa de touceiras e produtividade de pastagem (Figuras 4A e 4D). Além disso, esse dado é importante para designar a melhor época de aplicação. Mesmo com a limitação de controle total a inibição do florescimento diminui a produção de novas sementes que contribui para a diminuição da infestação. Sementes de capim-annoni que permanecem na superfície mantem-se viáveis por até três anos, enquanto àquelas em profundidades maiores podem sobreviver por mais de vinte anos (Medeiros *et*

al., 2014). Caso a aplicação fosse mais tardia, no início do outono, por exemplo, as sementes já estariam formadas e, mesmo que a touceira fosse controlada, novas plantas iriam surgir ao longo do tempo para repor a planta morta.

Uma das hipóteses do estudo era que a diferença entre as formulações poderia ser detectada na menor dose utilizada. Isso deveria acontecer em virtude de que na maior dose, poderia ocorrer um efeito de saturação da quantidade do herbicida resultando em máximo efeito de controle. No entanto, isso não ocorreu, sendo que as maiores diferenças entre as formulações de glyphosate ocorreram na maior dose testada, dando indícios de que não se havia chegado na dose ideal de controle. Isso, portanto, motivou a instalação do experimento altas-doses, com doses superiores às testadas nos experimentos formulações-verão e formulações-inverno. Para este experimento (Figuras 10 e 11), as diferenças no controle e redução da massa de touceiras de capim-annoni entre os herbicidas glyphosate sal de di-amônio e isopropilamina se mantiveram de forma similar ao observado anteriormente. Observou-se também incrementos nos níveis de controle com o aumento das doses, estabilizando-os a partir da dose de 2880 g ha⁻¹ (Figura 10). Não existem relatos de trabalhos que buscaram entender o controle de capim-annoni com doses elevadas. A maior dose recomendada, em situação de alta infestação, pelo manual do equipamento, é de 1440 g ha⁻¹. As únicas operações de controle com altas doses ocorrem por meio de um equipamento manual, com princípio de aplicação semelhante ao do aplicador Campo Limpo[®] denominado de “enxada química”. Esse método utiliza, no geral, o herbicida na sua forma pura, porém é impossível determinar a dose aplicada por hectare visto que a aplicação é realizada diretamente em cada touceira.

Não foram observados efeitos significativos de controle nos tratamentos em que se utilizou o herbicida cletodim. Os maiores controles visuais foram de 40% na avaliação de 90 DAA (Figura 2C) no experimento formulações-verão, claramente insuficientes quando se trata de controle de plantas daninhas por herbicidas. Além disso, não foram observadas diferenças entre as duas doses avaliadas indicando que o problema de falta de controle pelo herbicida possivelmente não se deve a dose e, sim, pela baixa eficiência dele no controle da espécie nesta modalidade de aplicação. Esse herbicida foi utilizado nos experimentos com vistas a oferecer uma alternativa de controle do capim-annoni ao herbicida glyphosate, um dos poucos herbicidas com registro para controle de plantas daninhas em áreas de pastagem

e único recomendado para aplicação por meio do aplicador seletivo Campo Limpo®. No entanto, a comparação com o capim-amargoso (*Digitaria insularis*), outra gramínea perene, permite entender a baixa eficiência observada no presente estudo. A bula do produto traz como recomendação para controle do capim amargoso, através de aplicação por aspersão, três aplicações do produto em doses de 108 até 240 g ha⁻¹ de cletodim. Esse manejo, porém, não foi testado no presente trabalho e talvez possa incrementar a eficiência de controle do cletodim, caso utilizada, apesar do alto custo envolvido.

De maneira geral, não se observou diferenças significativas e consistentes entre os volumes de calda (Figuras 6, 7, 8 e 9), para nenhuma das épocas avaliadas. O único efeito negativo pode ter ocorrido para produtividade de pastagens no experimento volumes-verão para o volume de calda de 56 L ha⁻¹. Para este tratamento observou-se morte da pastagem próxima às touceiras, refletida na avaliação de produtividade de pastagem aos 35 DAA (Figura 8D). No entanto, tendo em vista que, para as outras avaliações não houve diferença entre os volumes testados, não há justificativa para utilização desse alto volume de calda. Por outro lado, a ausência de diferenças pode abrir outra discussão. A atual recomendação de volume de calda de aplicação de herbicidas para o controle de capim-annoni por meio do aplicador seletivo Campo Limpo® é de em torno de 24 L ha⁻¹. Desta forma, pode-se inferir, que uma redução do volume de 24 para 8 L ha⁻¹ poderia ser adotada. Essa redução, além de não influenciar no controle de touceiras, poderia beneficiar na eficiência operacional do conjunto, já que seriam necessários menos abastecimentos para aplicação em uma determinada área.

Para todas as avaliações de produtividade de pastagem realizadas (Figuras 4D, 5C, 8D e 9C) observou-se que os tratamentos que receberam a aplicação de herbicidas foram superiores à testemunha. Isso indica que a seletividade a qual se propõe o equipamento de aplicação Campo Limpo® é efetiva. A produtividade de pastagem está diretamente relacionada a redução no acúmulo de massa de touceiras discutido anteriormente. Devido a interrupção precoce e eficiente do desenvolvimento das touceiras de capim-annoni nas parcelas que receberam a aplicação do herbicida glyphosate sal de di-amônio, o estrato inferior, que tem seu crescimento severamente inibido pela presença das plantas da invasora, consegue se sobressair e retomar a produção de massa. A única ressalva a seletividade do equipamento ocorreu nos experimentos volumes-verão (Figura 8D) e volumes

inverno (Figura 9C). Observou-se uma produtividade de pastagem inferior aos demais no tratamento que recebeu 56 L ha⁻¹ de volume de calda, conforme descrito acima. Observações de campo, durante as avaliações visuais de controle, apontaram para a morte das espécies forrageiras que compõem a pastagem do campo nativo próximas as touceiras que receberam a aplicação dos tratamentos com o maior volume de calda. Essa observação pode ajudar a explicar a redução da produtividade da pastagem comparada aos outros tratamentos com herbicidas. Desta forma, apesar das avaliações visuais de controle serem equivalentes aos demais volumes de calda, o aplicador Campo Limpo[®] não estaria cumprindo com a função de seletividade para o qual foi desenvolvido e que promove, em partes, sua utilização no controle do capim-annoni nas lavouras.

O controle seletivo realizado pelo equipamento é uma das maiores vantagens do aplicador Campo Limpo[®]. Além do controle eficiente das touceiras de capim-annoni, o fato do herbicida não ser aplicado em área total, reduz ou até elimina a perda de diversidade. Além disso, possibilita a rápida recuperação das pastagens, como pode ser visto nas avaliações de produtividade de pastagem 35 DAA (Figuras 4D, 5C, 8D e 9C). Esse benefício ocorre, porque ao mesmo tempo que as touceiras de capim-annoni cessam seu crescimento logo após a aplicação (Figuras 4A, 5A, 8A e 9A), reduzindo seu potencial de interferência, a pastagem consegue se sobressair e retomar seu crescimento. Devido a controle seletivo por diferença de altura, é possível que na mesma operação de controle direcionada ao manejo do capim-annoni, se obtenha o controle de qualquer outra infestante que apresente altura diferencial em relação a pastagem, e que desta forma receba a aplicação do herbicida. Exemplo disso são o gravatá (*Eryngium* spp.), a carqueja (*Baccharis trimera*), o mio-mio (*Baccharis coridifolia*) e a chirca (*Eupatorium buniifolium*) que também são consideradas importantes infestantes de pastagens. Essa forma de aplicação direta do herbicida, sem a necessidade de pulverização, também aumenta a segurança da aplicação, evitando riscos de deriva do produto e de inalação indevida pelo operador.

O aumento da eficiência do controle de capim-annoni através do equipamento Campo Limpo[®] pode ser obtido através da repetição da aplicação de glyphosate e principalmente pela melhoria do manejo da pastagem em relação a adubação, lotação animal e recomposição de espécies adaptadas e mais competitivas, entre outras práticas (Perez, 2015). Apesar da comprovada eficiência

em controlar as touceiras de capim-annoni, a utilização exclusiva de controle químico, seja por meio da aplicação convencional ou por meio do aplicador Campo Limpo®, seguramente não tornará possível o controle total ou erradicação da espécie dos campos de pastagens naturais. A adoção de outros métodos de interferência relacionados com o manejo dos animais e da pastagem são fundamentais para se diminuir a presença do capim-annoni nas pastagens e seus consequentes danos.

4.5 Conclusões

Aplicações de glyphosate através do equipamento de aplicação Campo Limpo® realizadas durante o verão apresentam melhor efeito de controle de touceiras de capim-annoni e resultam em menor ocorrência de rebrote em relação a aplicação no inverno. O volume de calda de aplicação do herbicida glyphosate com sais de isopropilamina e potássio, com o equipamento Campo Limpo® na faixa de 8 a 56 L ha⁻¹ não interfere no nível de controle de capim-annoni nas épocas de aplicação de verão e inverno. A formulação de glyphosate sal de di-amônio apresenta eficiência de controle de capim-annoni superior em comparação com as formulações isopropilamina, dimetilamina, amônio e potássico na dose de 1440 g ha⁻¹. O aplicador seletivo Campo Limpo® apresenta eficiência para o controle de touceiras de capim-annoni, bem como apresenta seletividade para a pastagem das áreas que recebem a aplicação do herbicida glyphosate.

4.6 Referências Bibliográficas

AGOSTINETTO, D. *et al.* Desempenho de formulações e doses de glyphosate em soja transgênica. **Revista Trópica**, Boa Vista, v. 3, n. 2, p. 35, 2009a.

AGOSTINETTO, D. *et al.* Respostas de cultivares de soja transgênica e controle de plantas daninhas em função de épocas de aplicação e formulações de glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 739-746, 2009b.

AGROFIT. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso: 23 mar. 2019.

BARROSO, A. A. M. *et al.* Interação entre herbicidas inibidores da ACCase e diferentes formulações de glyphosate no controle de capim-amargoso. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 619-627, 2014

- COSTA, A. C. R. *et al.* Action of rain on formulations of glyphosate mixed with saflufenacil for the control of *Brachiaria decumbens*. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 84, n. 1, p. 1-8, 2017.
- COUPLAND, D. Influence of light, temperature and humidity on the translocation and activity of glyphosate in *Elymus repens* (= *Agropyron repens*). **Weed Research**, Oxford, v. 23, p. 347-355, 1983.
- DEVKOTA, P.; JOHNSON, W. G. Glufosinate efficacy as influenced by carrier water pH, hardness, foliar fertilizer, and ammonium sulfate. **Weed Technology**, Champaign, v. 30, n. 4, p. 848-859, 2016.
- FERREIRA, E. B. *et al.* **ExpDes.pt**: Pacote Experimental Designs (Portuguese). R package version 1.2.0. 2018
- FRANS, R. R. *et al.* Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices. *In*: N. D. Camper (ed.). **Research Methods in Weed Science**. 3. ed. Champaign, IL: Southern Weed Science Society, 1986. p. 37-38.
- GOULART, I. C. G. R. *et al.* Controle de capim-anonni-2 (*Eragrostis plana*) com herbicidas pré-emergentes em associação com diferentes métodos de manejo do campo nativo. **Planta daninha**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 181-190, 2009.
- GOULART, I. C. G. R. *et al.* Interações entre herbicidas e protetores para o controle de capim-anonni em pastagem natural. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 10, p. 1722-1730, 2012.
- GRAZMEC. **Manual de operação e catálogo de peças**. Disponível em: <http://www.grazmec.com.br/wp-content/uploads/2015/07/MANUAL-CAMPO-LIMPO.pdf>. Acesso em: jan. 2019.
- GUTERRES, E. P. Considerações sobre o estabelecimento de forrageiras em áreas inçadas com capim anonni-2 (*Eragrostis plana* Nees) na estação experimental zootécnica de Tupanciretã. *In*: REUNIÃO REGIONAL DE AVALIAÇÃO DE PESQUISA COM ANNONI-2, 1., 1991, Bagé. **Anais[...]**. Bagé: EMBRAPA-CPPSUL, 1993. p. 5-23.
- HYNDMAN, R. J.; KHANDAKAR, Y. Automatic time series forecasting: the forecast package for R. **Statistical Software**, Innsbruck, v. 26, n. 3, p. 1-22, 2008.
- JAKELAITIS, A.; *et al.* Controle de *Digitaria horizontalis* pelos herbicidas glyphosate, sulfosate e glyphosate potássico submetidos a diferentes intervalos de chuva após a aplicação. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 19, n. 2, p. 279-285, 2001.
- LI, J. *et al.* Influence of formulation and glyphosate salt on absorption and translocation in three annual weeds. **Weed Science**, Champaign, v. 53, n. 2, p. 153-159, 2005.
- MACHADO, A. A.; CONCEIÇÃO, A. R. **WinStat**: sistema de análise estatística para Windows. Versão Beta. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2005. (Software).

MASIUNAS, J. B.; WELLER, S. C. Glyphosate activity in potato (*Solanum tuberosum*) under different temperature regimes and light levels. **Weed Science**, Champaign, v. 36, n. 2, p. 137-140, 1988.

MEDEIROS, R. B. *et al.* Invasão de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) no Bioma Pampa do Rio Grande do Sul. In: **Campos Sulinos – Conservação E Uso Sustentável Da Biodiversidade**. PILLAR V. P. *et al.* (ed.). Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. p. 319-30.

MEDEIROS, R. B. *et al.* Seed longevity of *Eragrostis plana* Nees buried in natural grassland soil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 43, n. 11, p. 561-567, 2014.

MEDEIROS, R. B.; FOCHT, T. Invasão, prevenção, controle e utilização do capim-annoni-2 (*Eragrostis plana* Nees) no Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 105-114, 2007.

MOLIN, W. T.; HIRASE, K. Comparison of commercial glyphosate formulations for control of prickly sida, purple nutsedge, morningglory and sicklepod. **Weed Biology and Management**, Carlton, v. 4, n. 1, p. 136-141, 2004.

MOLIN, W. T.; HIRASE, K. Effects of surfactants and simulated rainfall on the efficacy of the engane formulation of glyphosate in Johnson grass, prickly sida and yellow nutsedge. **Weed Biology and Management**, Carlton, v. 5, n. 3, p. 123-127, 2005.

MOLIN, W.; VAUGHN, K.; HIRASE, K. **Comparison of the efficacy and cuticular wax perturbations resulting from Engame and Roundup Ultramax formulations of glyphosate**. In: WSSA Abstracts of the 2003 Meeting of the Weed Science Society of America; Weed Science Society of America: Jacksonville, FL, USA, 2003.

MUELLER, T. C. *et al.* Comparison of glyphosate salts (Isopropylamine, Diammonium, and Potassium) and calcium and magnesium concentrations on the control of various weeds. **Weed Technology**, Champaign, v. 20, n. 1, p. 164-171, 2006.

NORDBY, D. E.; HAGER, A. G. Herbicide Formulations and Calculations: Active Ingredient or Acid Equivalent, a Weed Fact Sheet. In: **Integrated Pest Management Handbook**. University of Illinois: Champaign, IL, USA, 2011.

OLIVEIRA, R. B. *et al.* Influence of the glyphosate formulations on wettability and evaporation time of droplets on different targets. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 599-606, 2015.

PEREZ, N. B. **Campo Limpo**: controle de planta indesejáveis em pastagens. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2010. 10 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/68020/1/CL-Ago-2010.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2018.

PEREZ, N. B. **Método integrado de recuperação de pastagens MIRAPASTO**: foco capim-annoni. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 24 p.

- PIOLA, L. *et al.* Comparative toxicity of two glyphosate-based formulations to *Eisenia andrei* under laboratory conditions. **Chemosphere**, Amsterdam, v. 91, n. 4, p. 545-551, 2013.
- PRUDENTE, R. M.; MATUO, T. Aplicador de herbicidas com pavios de corda: primeiros resultados de controle. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 8, n. 1-2, p. 37-44, 1985.
- REIS, J. C. L; COELHO, R. W. **Controle do capim-annoni-2 em campos naturais e pastagens**. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 2000. 21 p. (EMBRAPA Clima Temperado. Circular Técnica, 22).
- RICHARDSON, R. J. *et al.* Responses of selected weeds and glyphosate-resistant cotton and soybean to two glyphosate salts. **Weed Technology**, Champaign, v. 17, n. 3, p. 560-564, 2003.
- SATCHIVI, N. M. *et al.* Absorption and translocation of glyphosate isopropylamine and trimethylsulfonium in *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi*. **Weed Science**, Champaign, v. 48, n. 1, p. 675-679, 2000.
- SATCHIVI, N. M. *et al.* Absorption and translocation of glyphosate isopropylamine and trimethylsulfonium in *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi*. **Weed Science**, Champaign, v. 48, n. 1, p. 675-679, 2000.
- SCHERNER, A. *et al.* Suscetibilidade de duas gramas-boiadeiras a diferentes formulações de glyphosate. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 3, p. 400-406, 2014.
- TRAVLOS, I.; CHEIMONA, N.; BILALIS, D. Glyphosate efficacy of different salt formulations and adjuvant additives on various weeds. **Agronomy**, Madison, v. 7, n. 1, p. 60-69, 2017.

4.7 APÊNDICES

APÊNDICE 1. Quadrados médios obtidos da análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p \leq 0,05$) dos dados de seis avaliações visuais de controle (%) obtidos em experimento a campo na época verão-2017, em resposta a aplicação de diferentes herbicidas em duas doses. UFRGS, Porto Alegre, 2019.

Fonte de Variação	GL ¹	Dias após a aplicação					
		7	28	56	90	150	360
Bloco	3	60,1	114,5**	92,4**	53,4 ^{ns}	37,7 ^{ns}	2,6 ^{ns}
Herbicida	5	1370,2	1779,6**	2280,9**	2103,0**	121,3**	568,1**
Dose	1	170,3	285,2**	336,0**	46,0 ^{ns}	3,3 ^{ns}	181,4**
Herbicida*dose	5	119,1	4,9**	285,8**	174,5**	9,6	121,5**
Testemunha*fatorial	1	7937,4	889,7**	17420,2**	18821,0**	1162,9**	1395,9**
Resíduo	36	16,1	13,1	18,2	22,2	16,9	10,0
Total	51						
CV (%) ²		6,1	3,9	6,4	3,4	2,1	14,7

¹ Graus de Liberdade; ² Coeficiente de variação; * Significativo a 5%; **Significativo a 1%.

APÊNDICE 2. Quadrados médios obtidos da análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p \leq 0,05$) dos dados de seis avaliações visuais de controle (%) obtidos em experimento a campo na época inverno-2017, em resposta a aplicação de diferentes herbicidas em duas doses. UFRGS, Porto Alegre, 2019.

Fonte de Variação	GL ¹	Dias após a aplicação					
		7	28	56	90	150	360
Bloco	3	31,2 ^{ns}	42,3*	43,6*	17,1 ^{ns}	9,0 ^{ns}	11,5 ^{ns}
Herbicida	5	136,8**	813,3**	1645,0**	826,7**	757,1**	405,8**
Dose	1	0,5 ^{ns}	133,3**	352,1**	638,1**	408,3**	168,8**
Herbicida*dose	5	81,8**	50,8*	97,1**	161,8**	109,6**	68,8**
Testemunha*fatorial	1	1956,8**	11510,0**	12207,7**	10958,7**	6156,4**	1077,6**
Resíduo	36	12,5	14,9	11,3	14,7	18,0	7,4
Total	51						
CV (%) ²		8,2	3,9	2,7	3,5	4,6	16,8

¹ Graus de Liberdade; ² Coeficiente de variação; * Significativo a 5%; **Significativo a 1%.

APÊNDICE 3. Quadrados médios obtidos da análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p \leq 0,05$) dos dados de avaliações de redução da massa de touceiras (RMT) aos 35 dias após a aplicação e 90 dias após a roçada, redução da emissão de panículas (REP) e produtividade de pastagem (PP) obtidos em experimento a campo na época verão-2017, em resposta a aplicação de diferentes herbicidas em duas doses. UFRGS, Porto Alegre, 2019.

Fonte de Variação	GL ¹	RMT35	RMT90	REP	PP
Bloco	3	138,0*	2,1 ^{ns}	1,6 ^{ns}	17347,6 ^{ns}
Herbicida	5	959,1**	2231,9**	442,8**	202011,8**
Dose	1	955,5**	955,7**	0,1 ^{ns}	741027,0**
Herbicida*dose	5	68,7 ^{ns}	181,0**	44,3**	290959,1**
Testemunha*fatorial	1	2738,4**	8792**	33455,7**	255522,7*
Resíduo	36	49,7	13,6	6,9	52257,4
Total	51				
CV (%) ²		8,0	10,8	3,1	2,1

¹ Graus de Liberdade; ² Coeficiente de variação; * Significativo a 5%; **Significativo a 1%.

APÊNDICE 4. Quadrados médios obtidos da análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p \leq 0,05$) dos dados de avaliações de redução da massa de touceiras (RMT) aos 35 dias após a aplicação e 90 dias após a roçada e produtividade de pastagem (PP) obtidos em experimento a campo na época inverno-2017, em resposta a aplicação de diferentes herbicidas em duas doses. UFRGS, Porto Alegre, 2019.

Fonte de Variação	GL ¹	RMT35	RMT90	PP
Bloco	3	22,3 ^{ns}	56,3 ^{ns}	227778,9 ^{ns}
Herbicida	5	1357,2**	1002,1**	2958963,2**
Dose	1	150,5**	0,05 ^{ns}	1304688,8**
Herbicida*dose	5	68,1**	295,3**	69411,1 ^{ns}
Testemunha*fatorial	1	13154,2	4886,2	3501485,2**
Resíduo	36	16,1	59,9	87904,4
Total	51			
CV (%) ²		4,1	7,9	4,1

¹ Graus de Liberdade; ² Coeficiente de variação; * Significativo a 5%; **Significativo a 1%.

APÊNDICE 5. Quadrados médios obtidos da análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p \leq 0,05$) dos dados de seis avaliações visuais de controle (%) obtidos em experimento a campo na época verão-2017, em resposta a aplicação de dois herbicidas em quatro volumes de calda. UFRGS, Porto Alegre, 2019.

Fonte de Variação	GL ¹	Dias após a aplicação					
		7	28	56	90	150	360
Bloco	3	45,4 ^{ns}	51,9*	22,9 ^{ns}	19,2 ^{ns}	15,7 ^{ns}	32,2 ^{ns}
Herbicida	1	12,5 ^{ns}	28,1 ^{ns}	7,0 ^{ns}	7,0 ^{ns}	3,1 ^{ns}	63,2*
Volume	3	151,0**	170,8**	119,5**	136,2**	134,4**	186,2**
Herbicida*volume	3	160,4**	53,1*	92,4**	71,6**	76,0**	107,0**
Testemunha*fatorial	1	5600,3**	14168,1**	22666,7**	23562,6**	23653,1**	2194,5**
Resíduo	24	21,4	13,8	13,0	13,5	14,2	16,0
Total	35						
CV (%) ²		6,3	2,5	2,4	1,9	2,4	7,8

¹ Graus de Liberdade; ² Coeficiente de variação; * Significativo a 5%; **Significativo a 1%.

APÊNDICE 6. Quadrados médios obtidos da análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p \leq 0,05$) dos dados de seis avaliações visuais de controle (%) obtidos em experimento a campo na época inverno-2017, em resposta a aplicação de dois herbicidas em quatro volumes de calda. UFRGS, Porto Alegre, 2019.

Fonte de Variação	GL ¹	Dias após a aplicação					
		7	28	56	90	150	360
Bloco	3	38,95 ^{ns}	3,9 ^{ns}	15,8 ^{ns}	47,5 ^{ns}	8,3 ^{ns}	6,7 ^{ns}
Herbicida	1	225,6**	105,6**	202,5**	160,0**	160**	422,5**
Volume	3	2565,6**	5800**	6114,7**	4970,9**	2825,9**	6654,1**
Herbicida*volume	3	41,25*	33,7**	22,8 ^{ns}	167,8**	24,1**	33,4*
Testemunha*fatorial	1	8569,2**	18982,6**	13685,3**	19687,3**	21568,9**	19888,0**
Resíduo	24	15,3	10,4	15,8	19,3	13,9	15,5
Total	35						
CV (%) ²		12,2	6,7	8,1	9,9	11,1	7,6

¹ Graus de Liberdade; ² Coeficiente de variação; * Significativo a 5%; **Significativo a 1%.

APÊNDICE 7. Quadrados médios obtidos da análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p \leq 0,05$) dos dados de avaliações de redução da massa de touceiras (RMT) aos 35 dias após a aplicação e 90 dias após a roçada, redução da emissão de panículas (REP) e produtividade de pastagem (PP) obtidos em experimento a campo na época verão-2017, em resposta a aplicação de dois herbicidas em quatro volumes de calda. UFRGS, Porto Alegre, 2019.

Fonte de Variação	GL ¹	RMT35	RMT90	REP	PP
Bloco	3	68,7 ^{ns}	267,2 ^{ns}	0,6 ^{ns}	35034,7 ^{ns}
Herbicida	1	194,6 ^{ns}	506,3*	2,0 ^{ns}	432450,0**
Volume	3	22,7 ^{ns}	63,5 ^{ns}	19,0**	738550,0**
Herbicida*volume	3	274,3 ^{ns}	441,6*	12,3**	848470,0**
Testemunha*fatorial	1	3010,5**	7754,35**	34399,8**	1106080,2**
Resíduo	24	115,8	120,8	2,29	50669,7
Total	35				
CV (%) ²		5,5	3,4	2,8	11

¹ Graus de Liberdade; ² Coeficiente de variação; * Significativo a 5%; **Significativo a 1%.

APÊNDICE 8. Quadrados médios obtidos da análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p \leq 0,05$) dos dados de avaliações de redução da massa de touceiras (RMT) aos 35 dias após a aplicação e 90 dias após a roçada e produtividade de pastagem (PP) obtidos em experimento a campo na época inverno-2017, em resposta a aplicação de dois herbicidas em quatro volumes de calda. UFRGS, Porto Alegre, 2019.

Fonte de Variação	GL ¹	RMT35	RMT90	PP
Bloco	3	251,7 ^{ns}	851,1 ^{ns}	80551,9 ^{ns}
Herbicida	1	82,6 ^{ns}	835,4 ^{ns}	2861549,6**
Volume	3	1539,5**	2003,2**	412611,7*
Herbicida*volume	3	215,1 ^{ns}	208,7 ^{ns}	415506,8*
Testemunha*fatorial	1	6589,2**	12547,5**	1313118,2**
Resíduo	24	246,7	365,7	133240,8
Total	35			
CV (%) ²		6,5	6,8	8,0

¹ Graus de Liberdade; ² Coeficiente de variação; * Significativo a 5%; **Significativo a 1%.

5 CAPÍTULO 3

Estrutura de populações de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) na região

Sul do Brasil

RESUMO

O capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) é uma importante planta invasora em áreas de preservação e de pastagens naturais. Essa espécie foi introduzida acidentalmente no Brasil por volta da década de 1950, no entanto, a dinâmica populacional do capim-annoni em relação aos processos de evolução nas populações formadas após a invasão não é conhecida. O objetivo deste trabalho foi avaliar a estrutura das populações e a variabilidade genética intra e interpopulacional de populações de capim-annoni de diferentes locais da região Sul do Brasil através do uso de marcadores moleculares do tipo nuclear ribossomal e plastidial. Foram avaliados 19 acessos, com 20 plantas individuais de cada acesso em relação a variabilidade dos marcadores ribossomal ITS4-ITS5 e plastidial rps16x2F2-trnK. Foram realizadas análises de diversidade genética, análise da variância molecular e de estrutura de populações. A maioria das populações avaliadas apresentaram baixas diversidades haplotípicas e nucleotídicas para ambos os marcadores, o que significa a ocorrência de recente gargalo genético. A análise da variância molecular indicou predomínio da variabilidade entre populações, que foi de 93,20% e 74,36% para os marcadores plastidial e ribossômico, respectivamente, indicando um relativo isolamento e diferenciação das populações estudadas. A análise da estrutura populacional indicou que poucas populações apresentaram indivíduos com composição genotípica diferente dos demais, como a população de Pontão que representa a área onde o capim-annoni foi inicialmente cultivado. As populações de capim-annoni analisadas apresentaram baixa variabilidade dentro das populações e alta variabilidade entre populações indicando a ocorrência de evolução independente nos mais de 60 anos desde que esta espécie foi introduzida no Brasil.

5.1 Introdução

O capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) é uma planta da família Poaceae, perene, estival de verão, com fotossíntese tipo C4 e que se reproduz por sementes (Botha, 1992). Esta espécie é originária do continente africano e foi introduzida de forma não deliberada no Brasil por volta da década de 1950 (Medeiros *et al.*, 2009). Antes do reconhecimento de *E. plana* como invasora, a planta foi comercializada e cultivada no Brasil devido a sua resistência ao pisoteio, geada e a seca. A região de pastagens localizada na região Sul da América do Sul constitui uma zona de produção pecuária importante onde o capim-annoni se tornou uma planta invasora dominante nas décadas recentes (Zenni & Ziller, 2011). No Brasil a área invadida já supera três milhões de hectares, e a invasão continua em direção a países vizinhos na região apesar das políticas para conter sua expansão (Medeiros *et al.*, 2004).

Mesmo depois de ter sido classificada como planta invasora, o capim-annoni tem aumentado a área infestada, com preferência para locais que não sofrem revolvimento do solo frequente, como áreas de campo, pastagem e beiras de estrada (Medeiros & Focht, 2007). Após o início da invasão, o capim-annoni em geral passa a ocorrer como dominante da comunidade vegetal. Parte desta dominância é atribuída ao fato de a espécie possuir mecanismos de defesa e preservação bem desenvolvidos, tais como elevada competitividade por água, luz e nutrientes, grande produção de sementes com elevada viabilidade, grande poder de disseminação e baixo consumo pelos animais (Reis & Coelho, 2000). A baixa preferência de pastejo é devida ao alto conteúdo de fibras que acelera o desgaste da dentição dos animais, reduzindo sua performance alimentar (Ferreira, 2011). A espécie também apresenta características anatômicas e histoquímicas que explicam sua persistência em situações de estresse (Favaretto *et al.*, 2015b). A combinação destes fatores, mais a dificuldade no manejo das populações de capim-annoni, explicam porque as pastagens infestadas apresentam rentabilidade e valores de terra reduzidos.

Diversos estudos foram conduzidos visando o entendimento da biologia, impactos, alternativas de controle e erradicação da espécie, porém, raros estudos sobre a genética e estrutura populacional da espécie no Brasil foram conduzidos. Estes estudos proporcionam o entendimento das características de dispersão das espécies no ambiente invadido e também sobre sua evolução desde o início da

invasão. O entendimento destes processos requer a caracterização diferencial de plantas invasoras em relação a plantas daninhas. Plantas daninhas são espécies que causam danos em geral direto e econômico em relação a exploração de uma área para produção de alimentos, fibra ou energia, principalmente. Enquanto plantas invasoras estão associadas a espécies em geral com características ruderais que cuja interferência ocorre principalmente em relação ao efeito ambiental. Estas espécies ocorrem majoritariamente em áreas de preservação ambiental, vias de transporte e em áreas de pastagens naturais. A busca por determinantes da invasibilidade sempre foi centralizada na biologia da espécie em estudo (Rejmánek, 1996; Rejmánek, 2000). A invasibilidade de novas espécies ocorre através de três estágios distintos, porém contínuos, introdução, naturalização e disseminação da invasão, podendo cada uma delas ser guiada por diferentes conjuntos de características funcionais (Richardson *et al.*, 2000; Richardson & Pysek, 2012). No geral, as plantas invasoras têm maior probabilidade de serem altas, exibirem taxas de crescimento rápidas (incluindo plântulas vigorosas e crescimento espacial), e têm alta fecundidade e capacidade dispersiva (por exemplo, pequenos propágulos) (Suda *et al.*, 2015). Outras características típicas de plantas invasoras incluem longos períodos de floração, resistência à herbivoria e características fisiológicas, como área foliar específica alta, taxa fotossintética e eficiência no uso de nutrientes e água (Suda *et al.*, 2015). Ainda, apresentam alta capacidade de competir interespecificamente através de meios especiais, produção de aleloquímicos, e quando perene seja de difícil arranquio (Baker, 1974).

Análises filogeográficas de variação genética podem ser usadas para explorar a história da migração de uma espécie, incluindo as espécies que colonizaram recentemente uma área (Hweitt, 2008; Schaal *et al.*, 2003). Para as espécies invasoras, a análise filogeográfica pode fornecer informações sobre a população(ões) de origem de um invasor, bem como elucidar padrões de propagação da espécie (Novak & Mack, 1993; Rosenthal *et al.*, 2008, Zhang *et al.*, 2010). Além disso, padrões filogeográficos e a distribuição da diversidade genética dentro e entre populações pode elucidar sobre a facilitação humana de propagação e, assim, auxiliar no desenvolvimento de estratégias de manejo adequadas (Ward, 2008), sendo que a variabilidade das populações é determinante na eficácia dos métodos de controle (Sterling *et al.*, 2004). As características do capim-annoni em

relação a evolução de diferenciação entre populações desde o início da infestação no Brasil não são conhecidas. Existem relatos apenas da dispersão desta espécie para diversas regiões. A identificação da diferenciação genética entre populações pode ser um indicativo da adaptação diferencial, o que se caracteriza como um fator de aumento futuro da infestação e dos prejuízos causados. Ainda, existência de grande diversidade genética entre populações é um fator que dificulta a eficiência de métodos biológicos de controle. O objetivo deste trabalho foi avaliar a estrutura das populações e a variabilidade genética intra e interpopulacional de populações de capim-annoni de diferentes locais da região Sul do Brasil através do uso de marcadores moleculares do tipo nuclear ribossomal e plastidial.

5.2 Material e Métodos

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Biologia Molecular do Departamento de Plantas de Lavoura da UFRGS e consistiu em analisar as sequências do DNA do cloroplasto e dos ribossomos de 19 acessos de *E. plana*.

5.2.1 Coleta, armazenagem e semeadura das populações

O material avaliado consistiu de 19 coletas de capim-annoni, coletados nos estados do RS, SC e PR (Tabela 1). Em cada acesso foram coletadas 20 inflorescências armazenadas individualmente em sacos de papel. Após a coleta ou recebimento das amostras, as sementes passaram por um processo de secagem em estufa de circulação de ar a 37°C por 24 horas para uniformizar o teor de umidade e garantir a viabilidade delas até o momento da semeadura. Após a secagem, as sementes foram armazenadas em sacos de papel, acomodadas em bandejas plásticas fechadas e acondicionadas em refrigerador a 5°C. Em dezembro de 2017, aproximadamente 20 sementes de cada planta foram semeadas em copos plásticos de 300 mL furados e preenchidos com solo adubado com 500 kg ha⁻¹ de N-P-K na fórmula 5-20-20. Após a germinação, as plantas excedentes foram desbastadas, mantendo-se somente uma planta por copo. O crescimento das plantas foi realizado em casa-de-vegetação climatizada com irrigação superficial conforme o necessário.

TABELA 1. Acessos de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) utilizados nas avaliações moleculares com sua respectiva origem e coordenada geográfica. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019.

Biótipo	Cidade/Estado de Origem	Coordenada Geográfica
1	Anta Gorda/RS	28°58'58.6"S 52°00'29.8"W
2	Pato Branco/PR	26°15'43.8"S 52°40'27.1"W
3	Ponta Grossa/PR	25°09'20.8"S 50°04'36.5"W
4	Santa Maria/RS	29°43'28.6"S 53°42'58.8"W
5	Eldorado do Sul/RS	30°05'48.7"S 51°40'29.1"W
6	Pontão/RS	27°59'36.5"S 52°47'20.9"W
7	Lages/SC	27°50'36.4"S 50°13'32.2"W
8	Passo Fundo/RS	28°13'29.0"S 52°22'60.0"W
9	Itapiranga/SC	27°07'55.7"S 53°42'22.7"W
10	Cruz Alta/SC	28°34'31.5"S 53°36'41.0"W
11	Fred. Westphalen/RS	27°23'44.5"S 53°25'45.1"W
12	Cambará do Sul/RS ¹	29°09'50.0"S 50°04'47.6"W
13	Campo Erê/SC	26°23'48.3"S 53°07'55.6"W
14	Itaqui/RS	29°11'41.9"S 56°28'38.2"W
15	Pelotas/RS	31°48'19.9"S 52°25'10.7"W
16	São Gabriel/RS	30°20'17.0"S 54°15'53.1"W
17	Lauro Müller/SC ²	28°23'22.4"S 49°32'44.8"W
18	Curitibanos/SC	27°16'18.6"S 50°34'23.9"W
19	Encruzilhada do Sul/RS	30°32'57.3"S 52°29'10.5"W

¹ Parque Nacional dos Aparados da Serra; ² Serra do Rio do Rastro.

5.2.2 Coleta de material vegetal e extração de DNA

As amostras para extração de DNA foram obtidas de aproximadamente 150 mg de tecido foliar, coletadas individualmente de cada uma das 20 plantas de cada população e acondicionadas em microtubos de 2mL. Após a coleta, as amostras foram liofilizadas em liofilizador (Liotop L108) durante 48 h, a -27°C e 250 mmHg. Posteriormente, as amostras foram armazenadas em freezer a -20°C até o momento da extração de DNA. Momentos antes da extração, as amostras foram maceradas com auxílio do macerador de tecidos TissueLyser II (QIAGEN), sendo que foram adicionados em cada microtubo, contendo o material vegetal liofilizado, duas esferas metálicas de 5 mm de diâmetro. As amostras permaneceram no

aparelho sob agitação durante 45 segundos na frequência de 30 vezes por segundo até a maceração total dos tecidos.

A extração do DNA foi realizada pelo protocolo CTAB (brometo de cetiltrimetilamônio) adaptado de Doyle & Doyle (Doyle & Doyle, 1987). Após a maceração, as esferas metálicas foram retiradas dos microtubos e posteriormente adicionados 650 μL de tampão CTAB e 13 μL de β -mercaptoetanol 2% previamente aquecido. Na sequência, as amostras foram agitadas com auxílio de vortex por cinco segundos e incubados em banho-maria a 65°C por 60 minutos, com agitação dos tubos a cada 15 minutos. Após o resfriamento das amostras, foram adicionados 650 μL de clorofórmio-isoamil (24:1) e realizada a inversão manual dos microtubos durante oito minutos. Em seguida, as amostras foram centrifugadas por seis minutos a 12000 rpm a temperatura ambiente (Centrifuga 5804R – Eppendorf). Aproximadamente 500 μL de sobrenadante foram recuperados na etapa seguinte, acondicionados em microtubos de 1,5 mL e adicionado igual volume de isopropanol gelado (armazenado em freezer a temperatura de -20°C). Os microtubos eram invertidos manualmente por cinco vezes e levados ao freezer a temperatura de -20°C, onde permaneciam por pelo menos duas horas.

Na etapa seguinte as amostras foram centrifugas por seis minutos a 12000 rpm a temperatura de 10°C. O sobrenadante foi descartado e foram adicionados 500 μL de etanol 75%, para a lavagem do pellet de DNA. As amostras permaneceram a temperatura ambiente por 20 minutos e em seguida centrifugadas novamente por seis minutos a 12000 rpm a temperatura de 10°C. Na sequência, o etanol foi descartado e adicionados 100 μL de TE (Tampão TRIS-EDTA) para ressuspensão do pellet, 50 μL de acetato de amônia 7,5M e 375 μL de etanol absoluto para precipitar o DNA novamente. Após esta etapa, as amostras foram centrifugadas por dez minutos a 12000 rpm a temperatura de 10°C. Em seguida o sobrenadante foi descartado e o pellet foi seco em incubadora com circulação de ar (TE-4200 - Tecnal) a 37°C por 25 minutos. O DNA foi ressuspenso em TE 1X + 20 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de RNase e incubado em termobloco (Accublock Digital Dry Bath – LABNET) a 37°C por 30 minutos. As amostras permaneceram em refrigerador a 5°C para quantificação e verificação da qualidade.

A análise da qualidade e quantidade de DNA foi realizada por meio de espectrofotômetro (Genesys 2tm, Thermo Spectronic). As amostras de DNA também foram analisadas em gel de agarose (1%), corados com brometo de etídio

na proporção de 0,02 $\mu\text{L mL}^{-1}$, por 90 minutos a 110 V em tampão TBE 0,5X (40 mM Tris, 1mM EDTA, pH=8,0). Após, cada gel foi fotografado com auxílio do programa L-PIX IMAGE Release 2.6 (Loccus Biotecnologia). Na sequência, as amostras foram armazenadas a -20°C na concentração original para amostras estoque e 25ng/ μL para amostras de trabalho.

5.2.3 Escolha dos marcadores moleculares, amplificação e sequenciamento de DNA

Um experimento prévio foi realizado com o objetivo de determinar os marcadores moleculares adequados para análise de diversidade genética em capim-annoni. Para isso, foram analisados 14 pares de primers de DNA plastidial e um par de primer de DNA ribossomal (Tabela 1 – Apêndice). A análise foi realizada em DNA de 12 plantas de populações distintas. Dos 15 pares de primers avaliados, foram selecionados oito que foram capazes de amplificar as regiões pretendidas e que não apresentavam banda dupla no gel de agarose (Figura 1 e 2 – Apêndice). Dentre as 12 populações iniciais, foram selecionadas cinco, com as quais foram realizados os sequenciamentos das amostras utilizando os oito primers pares de primers avaliados. Com base nos resultados do sequenciamento, levando em consideração o tamanho do fragmento, e a quantidade de variações SNPs entre as populações, foram selecionados dois primers para serem utilizados no experimento de análise filogenética.

Os marcadores universais selecionados são baseados em regiões não codificadas do DNA do cloroplasto e do ribossomo (Tabela 3). O marcador 3´rps16 - 5´trnK (cpDNA) corresponde à amplificação do íntron *trn* pertencente ao DNA do cloroplasto (Shaw *et al.*, 2007). O marcador ITS-Y4 e ITS-Y5 corresponde à amplificação de regiões do DNA nuclear ribossomal (nrDNA) (White *et al.*, 1990; Kita & Ito, 2000).

TABELA 2. Sequência nucleotídica e características dos marcadores utilizados na amplificação de DNA do cloroplasto e nuclear. UFRGS, Porto Alegre/RS. 2019. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019.

Marcador	Sequência dos primers	Fragmento (pb)	Região	Referência
rps16x2F2	AAAGTGGGTTTTTATGATCC	686	3´rps16 -5´trnK (cpDNA)	Fior <i>et al.</i> , 2013
trnK ^(UUU)	TTAAAAGCCGAGTACTCTACC			Shaw <i>et al.</i> , 2007
ITS-4	CCCGCCTGACCTGGGGTTCGC	650	ITS (nrDNA)	White <i>et al.</i> , 1990
ITS-5	TAGAGGAAGGAGAAGTCGTAACAA			Kita & Ito, 2000

As reações da polimerase em cadeia (PCR – Polymerase Chain Reaction) foram conduzidas no laboratório de biologia molecular do Departamento de Plantas de Lavoura da UFRGS, utilizando termocicladores (Thermal Cyclers C1000 Touch, BIO-RAD). As reações foram adaptadas de Yamaguchi (2005) e seguiram o seguinte protocolo: 50ng de DNA; 0,2 µM de cada primer (forward e reverse), 0,2 mM de dideoxynucleotídeos trifosfatos (dNTPs), 0,5 U de Taq DNA Polimerase Platinum (INVITROGEN), 2 mM de cloreto de magnésio (MgCl₂), 1X PCR buffer e água MiliQ para completar volume total de 22µL. O protocolo da reação de PCR foi composto por três minutos de desnaturação das cadeias de DNA a 94°C, 35 ciclos de 60 segundos a 94°C, 60 segundos a 63°C para ocorrer o pareamento, 60 segundos a 72°C, para ocorrer à extensão da fita complementar do DNA e por fim cinco minutos a 72°C para amplificar fragmentos mais longos. Os produtos de amplificação (amplicons) foram analisados em gel de agarose (2%) corados com brometo de etídio na proporção de 0,02 µL mL⁻¹, por 120 minutos a 110 V em tampão TBE 0,5X (40 mM Tris, 1mM EDTA, pH=8,0). Os tamanhos dos fragmentos foram determinados por comparação visual utilizando marcadores (Ladder) de 100pb (INVITROGEN). Após, cada gel foi fotografado com auxílio do programa L-PIX IMAGE Release 2.6 (Loccus Biotecnologia).

Após a confirmação da amplificação dos fragmentos em gel de agarose, foi realizado a purificação com as enzimas Exonuclease I e Shrimp Alkaline Phosphatase (ExoSap). Para isso, foram utilizados 5 µL do DNA amplificado por PCR e 1 µL de cada enzima. As amostras foram incubadas a 37°C por 40 minutos, seguidos de 80°C por 15 minutos para a inativação das enzimas em termociclador (Mastercycler, Eppendorf). Na sequência, as amostras foram quantificadas por meio de do espectrofotômetro (Genesys 2tm, Thermo Spectronic). O preparo das

amostras para sequenciamento utilizou 50 ng de DNA amplificado para cada 100 pares de base do fragmento, acrescidos de 1 µL de primer (10µM) (rps16x2F2 para o primer de DNA ribossomal e ITS-Y5 para o primer de DNA plastidial) e água miliQ para completar o volume de 7,5 µL. As reações de PCR, purificação e o envio das amostras foram realizadas em microplacas de PCR de 96 poços (Greiner bio-one). As amostras foram sequenciadas por eletroforese capilar em aparelho ABI3730 (Applied Biosystems), utilizando-se polímero POP7 e BigDye v3.1 no laboratório da empresa Myleus Facility (Belo Horizonte – MG).

5.2.4 Análise dos dados

As sequências obtidas foram editadas e alinhadas pelo programa MEGA versão 5.1, URL (<http://www.megasoftware.net/mega.php>) (Tamura *et al.*, 2013) para cada marcador separadamente. Os haplótipos foram analisados usando DNAsp 6.12.03 (Rozas *et al.*, 2017). A estimativa dos índices de diversidade genética dentro das populações (diversidades de haplótipos e nucleotídeos) e a diferenciação entre as 19 populações amostradas foi realizada através da análise de variância molecular (AMOVA) utilizado o programa ARLEQUIN, versão 3.5 (Excoffier & Lischer, 2010) (<http://cmpg.unibe.ch/software/arlequin35/>). A análise bayesiana de estrutura genética de populações foi realizada com o programa BAPS versão 6.0 (<http://www.helsinki.fi/bsg/software/BAPS/>).

5.3 Resultados e Discussão

5.3.1 Análise de diversidade genética e variância molecular

O número de haplótipos (NH) refere-se ao número de indivíduos com sequência de DNA diferentes entre eles, seja devido a uma ou mais substituições nucleotídicas. Nas populações analisadas, o NH variou de 2 a 5 quando analisado o marcador ribossomal ITS4-ITS5, sendo a população de Ponta Grossa/PR a que apresentou o maior número de NH (5) (Tabela 3). A presença de um único haplótipo não foi observada em nenhum local avaliado. Quando analisado o marcador plastidial rps16x2F2-trnK o número de haplótipos foi menor em relação ao marcador descrito anteriormente. O NH variou de 1 a 2, sendo o maior número de haplótipos das populações de Campo Erê/SC, Curitiba/SC, Pontão/RS, São Gabriel/RS e Lauro Müller/SC (Tabela 4).

A diversidade haplotípica (DH) indica a probabilidade de retirando aleatoriamente dois haplótipos de uma amostra estes serem diferentes. Enquanto a diversidade nucleotídica (DN) tem seu cálculo baseado na quantidade média de divergência nucleotídica entre sequências ao acaso de uma amostra. As DH e DN oriundas da análise do marcador ribossomal (Tabela 3) foram superiores às observada com o marcador plastidial (Tabela 4), ou seja, o marcador ribossomal caracteriza melhor a diversidade genética das populações. A maioria das populações avaliadas apresentaram baixas DH (<0,5) e DN (<0,5%) para ambos os marcadores, o que significa um recente gargalo evolutivo (*bottleneck*) ou um evento fundador por uma ou poucas linhagens de DNA (Grant & Bowen, 1998). Apenas as populações coletadas em Campo Erê/SC e Ponta Grossa/PR apresentaram DN e DH elevada, que significa uma divergência entre populações geograficamente subdivididas (Grant & Bowen, 1998). A ocorrência de gargalo evolutivo é passível de ter ocorrido indica a possível introdução de uma ou poucas populações a partir da África, embora esta informação não esteja ainda descrita na literatura.

O teste de Tajima (Tajima, 1989) e de Fu (Fu, 1997) são utilizados para detectar os desvios em relação à neutralidade. Tais testes são capazes de constatar se os dados observados são significativamente diferentes daqueles esperados, assumindo modelo de Wright-Fisher, onde as mutações são neutras (Fisher, 1930; Wright 1931). Assim, assume-se uma hipótese nula de neutralidade que, se refutada, pode indicar a interferência de processos evolutivos nas populações em questão. Os desvios em relação à neutralidade são tradicionalmente interpretados como resultado de diversos tipos de seleção, como seleção balanceadora e efeito carona (*genetic hitchhiking*), etc. ou de mudanças na estrutura populacional associados a expansões, retrações, ou gargalos evolutivos (*bottleneck*).

O índice D de Tajima tem seu cálculo baseado na distribuição de sítios segregantes e na diversidade nucleotídica. Para o marcador ribossomal a maior parte das populações apresentaram valores do índice D inferiores a 0 (Tabela 3), enquanto para o marcador plastidial a grande maioria apresentou neutralidade (Tabela 4). Valores inferiores a zero sugerem expansão populacional ou seleção purificadora, enquanto valores superiores a zero sugerem que a população tenha sido submetida à seleção balanceadora ou um recente gargalo populacional. Estes

resultados também podem estar relacionados as formas de dispersão do capim-annoni como origem das populações estudadas. Nas áreas onde a infestação foi originada por uma única introdução a diversidade das plantas pode estar associada ao fenômeno de gargalo populacional. Por outro lado, nas populações que este processo não foi caracterizado, a infestação pode ter sido causada por múltiplas introduções com indivíduos advindos de diferentes locais.

O índice F_s de F_u é calculado a partir da distribuição haplotípica, e figura entre os mais apropriados para identificar crescimento populacional (Ramos-Onsins & Rozas 2002). Valores positivos de F_s resultam de poucos alelos, e sugerem retração populacional, como em casos de gargalos evolutivos ou seleção por sobredominância. Valores negativos de F_s são evidências de um excesso de alelos, como se espera em casos de expansão populacional recente ou efeito carona.

TABELA 3. Índices de diversidade genética e testes de neutralidade das 19 populações de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) para o marcador ribossomal ITS4-ITS5. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019.

População	n	NH	DN	DH	Pi	Fs	D
Anta Gorda/RS	20	3	0.0006	0,100	0,300	-1.14	-1.16
Cambará do Sul/RS	20	2	0.0004	0,100	0.200	-0.02	-1.51
Campo Erê/SC	20	4	0.0138	0.412	6.584	7.29	1.71
Cruz Alta/RS	20	4	0.0047	0.124	2.237	2.14	-2.18
Curitibanos/SC	20	2	0.0009	0.442	0.442	1.17	1.02
Eldorado do Sul/RS	20	2	0.0002	0.100	0.100	-0.88	-1.16
Enc. do Sul/RS	20	3	0.0004	0,100	0.200	-1.86	-1.51
Fred. Westphalen/RS	20	2	0.0002	0,100	0.100	-0.88	-1.16
Itapiranga/SC	20	2	0.0007	0.337	0.337	0.72	0.35
Itaqui/RS	20	2	0.0010	0.479	0.479	1.31	1.26
Lages/SC	20	4	0.0010	0.156	0.468	-1.71	-0.81
Passo Fundo/RS	20	2	0.0002	0,100	0,100	-0.88	-1.16
Pato Branco/PR	20	2	0.0006	0.268	0.268	0.38	-0.09
Pelotas/RS	20	3	0.0010	0.247	0.495	-0.23	-0.29
Ponta Grossa/PR	20	5	0.0155	0.411	7.400	6.12	1.96
Pontão/RS	20	2	0.0006	0.268	0.268	0.38	-0.09
Santa Maria/RS	20	4	0.0008	0.130	0.389	-2.14	-1.14
São Gabriel/RS	20	5	0.0023	0.217	1.084	-0.91	-0.60
Lauro Müller/SC	20	3	0.0011	0.263	0.526	-0.12	-0.16

n: número de indivíduos; NH: número de haplótipos; DN: Diversidade nucleotídica; DH: Diversidade de haplótipos; Pi: Estatística Fs de Fu; D: D de Tajima.

TABELA 4. Índices de diversidade genética e testes de neutralidade das 19 populações de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) para o marcador plastidial rps16x2F2-trnK. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019.

População	n	NH	ND	DH	Pi	Fs	D
Anta Gorda/RS	20	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cambará do Sul/RS	20	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Campo Erê/SC	20	2	0,003	0,395	1,579	4,398	1,159
Cruz Alta/RS	20	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Curitibanos/SC	20	2	0,006	0,100	3,500	8,240	-2,552
Eldorado do Sul/RS	20	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Enc. do Sul/RS	20	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fred. Westphalen/RS	20	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Itapiranga/SC	20	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Itaqui/RS	20	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Lages/SC	20	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Passo Fundo/RS	20	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pato Branco/PR	20	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pelotas/RS	20	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ponta Grossa/PR	20	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pontão/RS	20	2	0,001	0,100	0,100	-0,879	-1,164
Santa Maria/RS	20	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
São Gabriel/RS	20	2	0,001	0,189	0,189	-0,096	-0,591
Lauro Müller/SC	20	2	0,001	0,100	0,500	1,390	-1,974

n: número de indivíduos; NH: número de haplótipos; DN: Diversidade nucleotídica; DH: Diversidade de haplótipos; Pi: Fs: Estatística Fs de Fu; D: D de Tajima.

A AMOVA dos sequenciamentos baseados no marcador plastidial indicou que a variância dentro das populações é de 6,75% e entre populações é de 93,20% (Tabela 5). Para o marcador ribossômico a variância dentro das populações é de 26,64% e entre populações é de 74,36% (Tabela 6). Os diferentes valores de diversidade genética dentro das populações entre estes estudos caracterizam as diferenças na variabilidade natural e os diferentes níveis de eventos migratórios relacionados principalmente ao movimento de sementes.

A variabilidade genética de capim-annoni foi estudada em uma avaliação preliminar com cinco populações através de marcadores ISSR (*Inter Simple Sequence Repeats*) para populações de capim-annoni (Schumacher *et al.*, 2016).

Neste estudo, foram encontradas apenas três bandas distintas, e os resultados obtidos indicaram a ocorrência de baixa diversidade das populações estudadas, sugerindo que a espécie pode ser geneticamente mais homogênea do que o esperado no RS. Estes resultados corroboram os resultados obtidos no presente estudo, que identifica resultados semelhantes através de análise utilizando um número maior de populações e com marcadores moleculares com maior ocorrência de polimorfismo, onde a variabilidade dentro de cada população também foi baixa.

A ocorrência de elevada variância molecular entre populações indica um relativo isolamento e diferenciação das populações estudadas. A maior diversidade entre populações em comparação com a diversidade dentro das populações aponta para uma baixa ocorrência de imigrações frequentes resultando em menores aportes de diversidade genética de outras populações. Ainda, esta maior diversidade entre populações também indica a ocorrência de processos independentes de evolução e adaptação em cada local, resultando no acúmulo de alelos adaptados.

TABELA 5. Análise de variância molecular (AMOVA) das 19 populações de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) para o marcador plastidial rps162xF2-trnK. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019.

Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Componentes de variação	Porcentagem de variação	P-valor
Dentro das populações	18	6,80	0,01	6,75	<0,001
Entre Populações	361	55,75	0,15	93,20	<0,001
Total	379	62,55	0,17		

As probabilidades foram calculadas por 10100 permutações ao acaso. F_{ST} : 0,06752

TABELA 6. Análise de variância molecular (AMOVA) das 19 populações de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) para o marcador ribossomal ITS4-ITS5. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019.

Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Componentes de variação	Porcentagem de variação	P-valor
Dentro das populações	18	82,19	0,20	25,64	<0,001
Entre Populações	361	208,80	0,58	74,36	<0,001
Total	379	290,99	0,78		

As probabilidades foram calculadas por 10100 permutações ao acaso. F_{ST} : 0,25637

5.3.2 Estrutura populacional

Os resultados da análise da estrutura populacional indicaram resultados contrastantes para os marcadores das duas regiões estudadas. Para o marcador

ribossomal o conjunto de dados foi estruturado de maneira ótima com $K=4$, ou seja, as populações amostradas podem representar quatro possíveis fundos genéticos (Figura 1). Para o marcador plastidial o conjunto de dados foi estruturado de maneira ótima com $K=3$, ou seja, as populações amostradas podem representar três possíveis grupos genéticos (Figura 2). Ambas as caracterizações estão de acordo com os resultados descritos anteriormente que indicaram baixa variabilidade dentro das populações. A análise de estrutura populacional referente ao marcador ribossomal apresentou maior variabilidade, onde a população de Lauro Miller caracterizou-se como possuindo todas as 20 plantas analisadas ($K =$ verde) diferentes da maioria das demais plantas que são representadas ($K =$ vermelho). Além disto, algumas plantas das populações de Campo Erê e Ponta Grossa apresentaram características particulares representadas pela variabilidade de um terceiro grupo de indivíduos ($K =$ azul). Apenas um indivíduo da população de Cruz Alta foi associado com o quarto grupo ($K =$ amarelo). No entanto, a grande maioria dos indivíduos foi caracterizado pelo grupo predominante ($K =$ vermelho) certamente associado com as características originais das plantas primeiramente introduzidas. Salienta-se que a população de Pontão que representa a área onde o capim-annoni foi inicialmente cultivado no estado apresentou a maioria dos indivíduos associados ao grupo predominante ($K =$ vermelho), mas foram identificados três indivíduos com características diferentes dos demais ($K =$ verde). Estes indivíduos podem ter se diferenciado dos demais no próprio local de origem, serem resultantes de uma outra introdução, ou serem resultado de imigração a partir de uma população que apresentou evolução diferencial em relação aos indivíduos originais,

A estrutura populacional indicada pelo marcador plastidial apresentou baixa variabilidade entre as populações estudadas. Apenas as populações de Campo Erê e Curitiba apresentaram indivíduos com composição genotípica diferentes dos demais. Estes resultados estão em consonância com os valores dos índices de diversidade genética DH , P_i , F_s e D (Tabela 4) discutidos anteriormente.

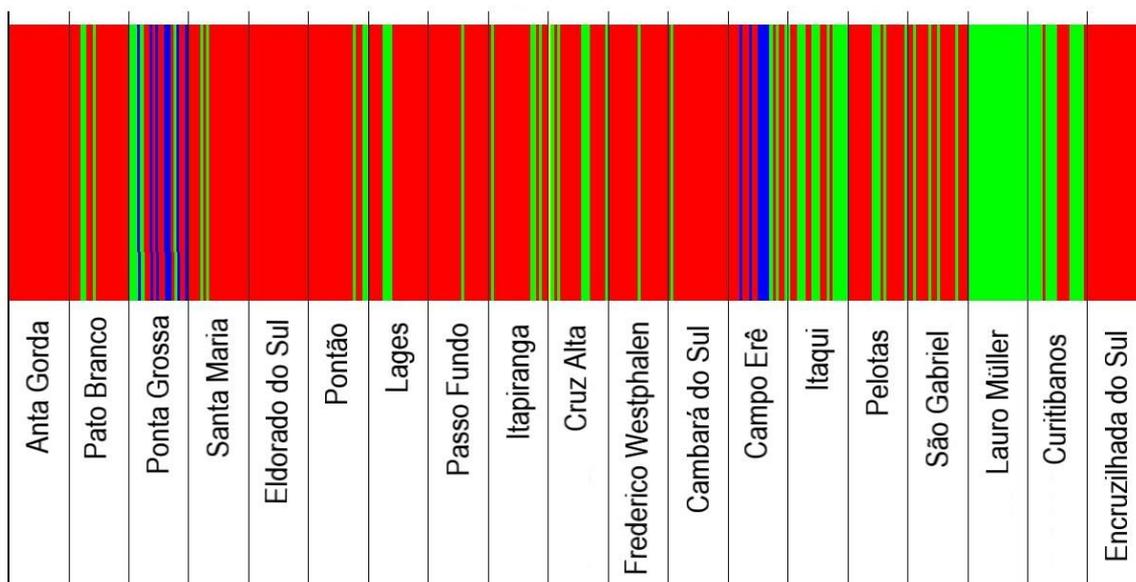


FIGURA 1. Gráfico em barras gerado pela análise implementada no programa BAPS (Bayesian Analysis of Population Structure) a qual estima a probabilidade posterior da formação de grupos que são representados pelas cores para o marcador ribossomal ITS4-ITS5. Cada indivíduo é representado por uma única barra vertical atribuída aos quatro grupos K (vermelho, verde, azul e amarelo). OBS: Existe apenas um indivíduo indicado na cor amarela na população Cruz Alta. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019.

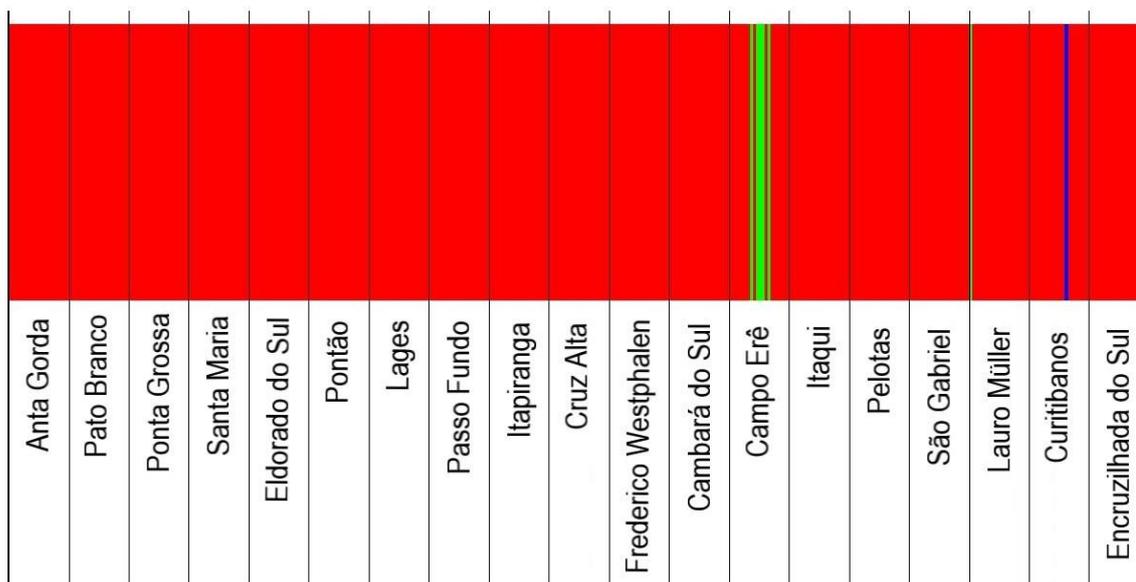


FIGURA 2. Gráfico em barras gerado pela análise implementada no programa BAPS (Bayesian Analysis of Population Structure) a qual estima a probabilidade posterior da formação de grupos que são representados pelas cores para o marcador plastidial rps162xf2-trnK. Cada indivíduo é representado por uma única barra vertical atribuída aos quatro grupos K (vermelho, verde e azul). UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019.

5.4 Conclusões

A variabilidade genérica identificada através do marcador ribossomal ITS4-ITS5 foi superior em relação ao marcador plastidial rps16x2F2-trnK. A maioria das populações avaliadas apresentaram baixas diversidades haplotípicas e nucleotídicas para ambos os marcadores, o que significa um recente gargalo evolutivo (*bottleneck*) ou um evento fundador por uma ou poucas populações. Estes resultados estão de acordo com o histórico de invasibilidade do capim-annoni no Brasil, onde a infestação ocorreu recentemente e possivelmente a partir de poucos indivíduos como contaminantes de sementes de forrageiras.

A análise da variância molecular para o marcador plastidial indicou que a variância dentro das populações é de 6,75% e entre populações é de 93,20%, e para o marcador ribossômico a variância dentro das populações é de 26,64% e entre populações é de 74,36%. A ocorrência de elevada variância molecular entre populações indica um relativo isolamento e diferenciação das populações estudadas.

Os resultados da análise da estrutura populacional indicaram resultados de três e quatro grupos para os marcadores plastidial e ribossômico, respectivamente. Ambas as análises indicaram baixa variabilidade dentro das populações. Apenas três populações apresentaram alguns poucos indivíduos com composição genotípica diferente dos demais, como a população de Pontão que representa a área onde o capim-annoni foi inicialmente cultivado, indicando a possibilidade de evolução independente, migração a partir de outra população, ou ocorrência de múltiplas introduções.

Os resultados indicaram baixa variabilidade das plantas de capim-annoni dentro das populações e alta variabilidade entre populações. Estes resultados evidenciam a ocorrência de evolução independente nos mais de 60 anos desde que esta espécie foi introduzida no Brasil.

5.5 Agradecimentos

Agradecemos aos professores e pesquisadores Michelangelo Müzell Trezzi (UTFPR), Fernando Storniolo Adegas (Embrapa Soja), Liliana Essi (UFSM), Anderson Luis Nunes (IFRS), Adriana Favaretto (UPF), Mario Antônio Bianchi (CCGL TEC), Diecson Ruy Orsolin da Silva (UFSM-FW), Carlos Eduardo Schaedler (UNIPAMPA), Fernanda Cassiane Caratti (UFPel), Ionara Fátima Conterato

(FEPAGRO), Douglas George de Oliveira (EPAGRI) e todos os outros, mesmo aqui não nomeados, pela disponibilidade da coleta, acondicionamento e envio de amostras de sementes de capim-annoni, essenciais para o êxito desse trabalho.

5.6 Referências Bibliográficas

AL-JANABI, S. M. *et al.* Phylogenetic analysis of organellar DNA sequences in the Andropogoneae: Saccharinae. **Theoretical and Applied Genetics**, Stuttgart, v. 88, n. 1, p. 933-944, 1994.

BAKER, H. G. The evolution of weeds. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 5, n. 1, p. 1-24, 1974.

BOTHA, C. E. J. Plasmodesmatal distribution, structure and frequency in relation to assimilation in C3 and C4 grasses in southern Africa. **Planta**, Bonn, v. 187, n. 3, p. 348-358, 1992.

DOYLE, J. J.; DOYLE, J. L. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. **Phytochemical Bulletin**, Oklahoma, v. 19, n. 1, p. 11-15, 1987.

EXCOFFIER, L.; LISCHER, H. E. Arlequin suite ver 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. **Molecular Ecology Resources**, Idaho, v. 10, n. 1, p. 564-567, 2010.

FAVARETTO, A. *et al.* Pattern of allelochemical distribution in leaves and roots of tough lovegrass (*Eragrostis plana* Nees.). **Australian Journal of Crop Science**, Brisbane, v. 9, n. 11, p. 1119-1125, 2015.

FERREIRA, A. T. **Uma “Exótica” No Campo: O Capim Annoni-2 e suas influências na produção agropecuária na coxilha de São Rafael, Município de Quaraí - RS.** Porto Alegre: UFRGS, 2011. 56 p.

FIOR, S. M. *et al.* Spatiotemporal reconstruction of the *Aquilegia* rapid radiation through next-generation sequencing of rapidly evolving cpDNA regions. **The New Phytologist**, Lancaster, v. 198, n. 1, p. 579-592, 2013.

FISHER, R. A. **The genetical theory of natural selection.** Clarendon Press, Oxford, 1930.

FU, Y. X. Statistical tests of neutrality of mutations against population growth, hitchhiking and background selection. **Genetics**, Colorado, v. 147, n. 2, p. 915-925, 1997.

GRANT, W. A. S.; BOWEN, B. W. Shallow population histories in deep evolutionary lineages of marine fishes: insights from sardines and anchovies and lessons for conservation. **Heredity**, Oxford, v. 89, n. 5, p. 415-426, 1998.

GRIVET, D. *et al.* Genome walking with consensus primers: application to the large single copy region of chloroplast DNA. **Molecular Ecology Notes**, Hoboken, v. 1, n. 1, p. 345-349, 2001.

HWEITT, G. M. Speciation, hybrid zones and phylogeography - or seeing genes in space and time. **Molecular Ecology**, Hoboken, v. 10, n. 3, p. 537-549, 2008.

KITA, Y.; ITO, M. Nuclear ribosomal ITS sequences and phylogeny in East Asian *Aconitum* subgenus *Aconitum* (Ranunculaceae), with special reference to extensive polymorphism in individual plants. **Plant System Evolution**, Vienna, v. 225, n. 1-4, p. 1-13, 2000.

KRESS, W. J.; ERICKSON, D. L. A two-locus global DNA barcode for land plants: the coding *rbcL* gene complements the non-coding *trnH-psbA* spacer region. **PLoS One**, Cambridge, v. 2, 2007.

LAHAYE, R. *et al.* A test of *psbK-psbI* and *atpF-atpH* as potential plant DNA barcodes using the flora of the Kruger National Park as a model system (South Africa). **Nature Proceedings**, London, v. 3, p. 1-1, 2008.

MEDEIROS, R. B. *et al.* Expansão de *Eragrostis plana* Ness (capim-annoni-2), no Rio Grande do Sul e indicativos de controle. In: REUNIÓN DEL GRUPO TÉCNICO REGIONAL DEL CONO SUR EN MEJORAMIENTO Y UTILIZACIÓN DE LOS 133 RECURSOS FORRAJEROS DEL ÁREA TROPICAL Y SUBTROPICAL, 1., 2004, Salto. **Anais[...]** Salto: Universidad de la República, 2004.

MEDEIROS, R. B.; FOCHT, T. Invasão, prevenção, controle e utilização do capim-annoni-2 (*Eragrostis plana* Nees) no Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 105-114, 2007.

NOVAK, S.; MACK, R. Genetic variation in *Bromus tectorum* (Poaceae): comparison between native and introduced populations. **Journal of Heredity**, Oxford, v. 71, n. 1, p. 167-176, 1993.

OXELMAN, B.; LIDÉN, M.; BERGLUND, D. Chloroplast *rps16* intron phylogeny of the tribe Sileneae (Caryophyllaceae). **Plant Systematics and Evolution**, Heidelberg, v. 206, n. 1, p. 393-410, 1997.

RAMOS-ONSINS, S. E.; ROZAS, J. Statistical properties of new neutrality tests against population growth. **Molecular Biology and Evolution**, Oxford, v. 19, n. 12, p. 2092-2100, 2002.

REIS, J. C. L.; COELHO, R. W. **Controle do capim-annoni-2 em campos naturais e pastagens**. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 2000. 21 p. (EMBRAPA Clima Temperado. Circular Técnica, 22).

REJMÁNEK, M. A. Theory of seed plant invasiveness: the first sketch. **Biological Conservation**, Montpellier, v. 78, n. 1, p.171-181, 1996.

REJMÁNEK, M. Invasive plants: approaches and predictions. **Austral Ecology**, Armidale, v. 25, n. 5, p. 497-506, 2000.

RICHARDSON, D. M. *et al.* Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. **Diversity and Distributions**, Kelburn, v. 6, n. 2, p. 93-107, 2000.

- RICHARDSON, D. M.; PYSEK, P. Naturalization of introduced plants: ecological drivers of biogeographic patterns. **New Phytologist**, Lancaster, v. 196, n. 2, p. 383-396, 2012.
- ROSENTHAL, D. M. Evidence for multiple sources of invasion and intraspecific hybridization in *Brachypodium sylvaticum* (Hudson) Beauv. in North America. **Molecular Ecology**, Hoboken, v. 17, n. 21, p. 4657-4669, 2008.
- ROZAS, J. *et al.* DnaSP 6: DNA Sequence Polymorphism Analysis of Large Datasets. **Molecular Biology Evolution**, Oxford, v. 34, n. 12, p. 3299-3302, 2017.
- SANG, T.; CRAWFORD, D. J.; STUESSY, T. F. Chloroplast DNA phylogeny, reticulate evolution, and biogeography of *Paeonia* (*Paeoniaceae*). **American Journal of Botany**, Connecticut, v. 84, n. 1, p. 1120-1136, 1997.
- SCHAAL, B. A. *et al.* Invitational Lecture. Phylogeography, haplotype trees, and invasive plant species. **Journal of Heredity**, Oxford, v. 94, n. 3, p. 197-204, 2003.
- SCHUMACHER, L. L. *et al.* Avaliação da variabilidade genética de *Eragrostis plana* Nees (capim-annoni-2) em populações do Estado do Rio Grande do Sul - resultados parciais. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 26., 2016. **Anais [...]**. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2016.
- SHAW, J. *et al.* Comparison of whole chloroplast genome sequences to choose noncoding regions for phylogenetic studies in angiosperms: The tortoise and the hare III. **American Journal of Botany**, Connecticut, v. 94, n. 3, p. 275-288, 2007.
- SHAW, J. *et al.* The tortoise and the hare II: relative utility of 21 noncoding chloroplast DNA sequences for phylogenetic analysis. **American Journal of Botany**, Connecticut, v. 92, n. 1, p. 142-166, 2005.
- STERLING, T. M. *et al.* Implications of invasive plant variation for weed management. **Weed Technology**, Champaign, v. 18, n. 1, p. 1319-1324, 2004.
- SUDA, J. *et al.* The hidden side of plant invasions: the role of genome size. **New Phytologist**, Lancaster, v. 205, n. 3, p. 994-1007, 2015.
- TABERLET, P. *et al.* Universal primers for amplification of three non-coding regions of chloroplast DNA. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 17, n. 5, p. 1105-1109, 1991.
- TAJIMA, F. Statistical method for testing the neutral mutation by DNA polymorphism. **Genetics**, Colorado, v. 123, n. 3, p. 585-595, 1989.
- TAMURA, K. *et al.* MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 6.0. **Molecular Biology and Evolution**, Oxford, v. 30, n. 1, p. 2725-2729, 2013.
- TATE, J. A.; SIMPSON, B. B. Paraphyly of *Tarasa* (Malvaceae) and diverse origins of the polyploid species. **Systematic Botany**, Laramie, v. 28, n. 4, p. 723-737, 2003.
- WARD, S. M. *et al.* Ecological genetics of plant invasion: what do we know? **Invasive Plant Science and Management**, Cambridge, v. 1, n. 1, p. 98-109, 2008.

WHITE T.J. *et al.* Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: PCR protocols a guide to methods and applications. **Academic Press**, San Diego, p. 315-322, 1990.

WRIGHT, A. Evolution in Mendelian populations. **Genetics**, Colorado, v. 16, n. 2, p. 97-159, 1931.

YAMAGUCHI, H. *et al.* A molecular phylogeny of wild and cultivated *Echinochloa* in East Asia inferred from non-coding region sequences of trnT-L-F. **Weed Biology and Management**, Carlton, v. 5, n. 4, p. 210-218, 2005.

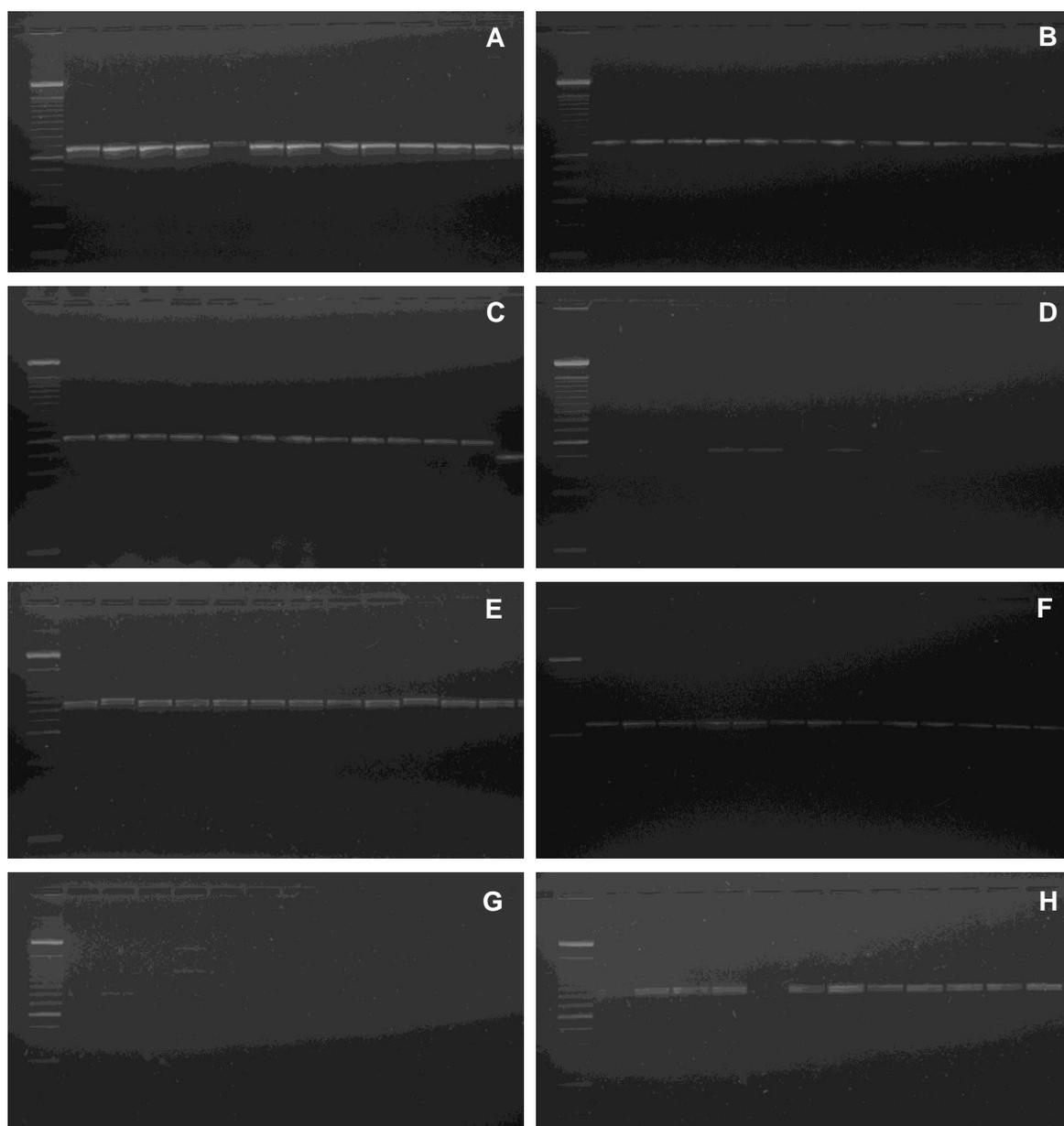
ZENNI, R. D.; ZILLER, S. R. An overview of invasive plants in Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, v. 34, n. 3, p. 431-446, 2011.

ZHANG, Y. Y. *et al.* Genetic uniformity characterizes the invasive spread of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), a clonal aquatic plant. **Molecular Ecology**, Hoboken, v. 19, n. 9, p. 1774-1786, 2010.

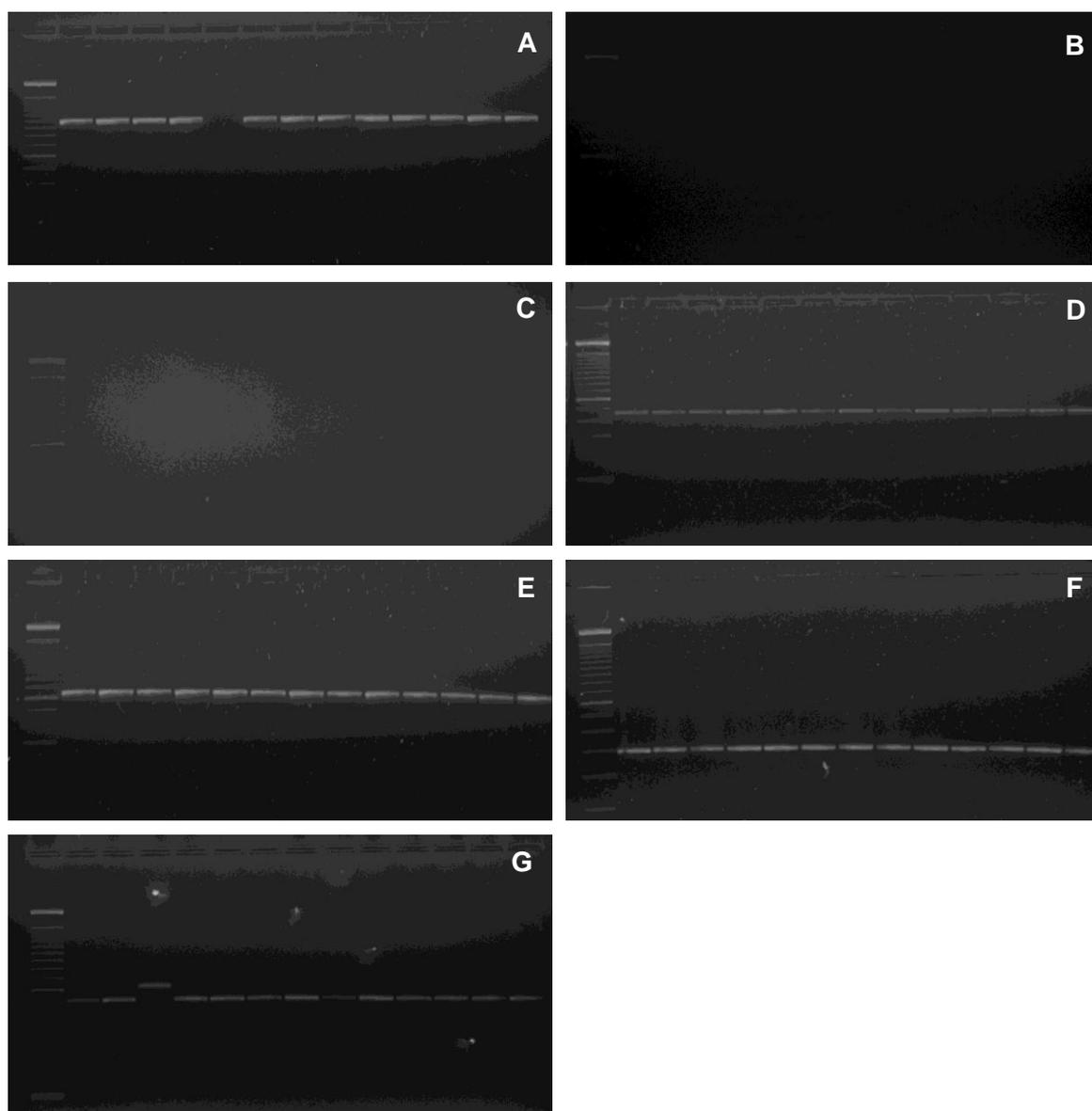
5.7 APÊNDICES

APÊNDICE 1. Identificação dos marcadores utilizados nos ensaios teste para seleção de marcadores para o experimento definitivo. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2019.

Nro.	Marcador	Sequência dos primers	Frag. (pb)	Referência
1	ITS-4	CCCGCCTGACCTGGGGTCGC	650	White <i>et al.</i> , 1990F Kita & Ito 2000
	ITS-5	TAGAGGAAGGAGAAGTCGTAACAA		
2	rps16x2F2	AAAGTGGGTTTTTATGATCC	686	Fior <i>et al.</i> , 2013 Shaw <i>et al.</i> , 2007
	trnK ^(UUU)	TAAAAGCCGAGTACTCTACC		
3	atpI	ATAGGTGAATCCATGGAGGG	600	Grivet <i>et al.</i> , 2001 Grivet <i>et al.</i> , 2001
	atpH	CCAGCAGCAATAACGGAAGC		
4	psal-75	AGAAGCCATTGCAATTGCCGGAAA	550	Shaw <i>et al.</i> , 2007 Shaw <i>et al.</i> , 2007
	accD	AATYGTACCACGTAATCYTTTAAA		
5	rps16f	GTGGTAGAAAGCAACGTGCGACTT	900	Oxelman <i>et al.</i> , 1997 Oxelman <i>et al.</i> , 1997
	rps16r	TCGGGATCGAACATCAATTGCAAC		
6	psbA	GTTATGCATGAACGTAATGCTC	700	Sang <i>et al.</i> , 1997 Tate & Simpson 2003
	trnH	CGCGCATGGTGGATTCAACAATCC		
7	trnS	AGATAGGGATTTCGAACCCTCGGT	750	Shaw <i>et al.</i> , 2005 Shaw <i>et al.</i> , 2005
	trnG	GTAGCGGGAATCGAACCCGCATC		
8	trnA	CATTACAAATGCGATGCTCT	830	Taberlet <i>et al.</i> , 1991 Taberlet <i>et al.</i> , 1991
	trnB	TCTACCGATTTTCGCATATC		
9	trnC	CGAAATCGGTAGACGCTACG	1000	Taberlet <i>et al.</i> , 1991 Taberlet <i>et al.</i> , 1991
	trnF	ATTTGAACTGGTGACACGAG		
10	trnD	GGGGATAGAGGGACTTGAAC	-*	Taberlet <i>et al.</i> , 1991 Taberlet <i>et al.</i> , 1991
	trnE	GCTTCAAGTCCCTCTATCGC		
11	trnA1	TGATATGGCTCAGACGAATA	-*	Yamaguchi <i>et al.</i> , 2005 Yamaguchi <i>et al.</i> , 2005
	trnB1	AACGATCGAATGAAAATGCC		
12	psbK	TTAGCCTTTGTTTGGCAAG	480	Lahaye <i>et al.</i> , 2008 Lahaye <i>et al.</i> , 2008
	psbL	AGAGTTTGAGAGTAAGCAT		
13	rbcLf	ATGTCACCACAAACAGAGACTAAAGC	650	Kress & Erickson 2007 Kress & Erickson 2007
	rbcLr	GAAACGGTCTCTCCAACGCAT		
14	trnV	AGTTCGAGCCTGATTATCCC	300	Al-Janabi <i>et al.</i> , 1994 Al-Janabi <i>et al.</i> , 1994
	rRNA	GCATGCCGCCAGCGTTCATC		
15	trnC	TACGAGTGCTCAGACATTCA	500	Shaw <i>et al.</i> , 2007 Shaw <i>et al.</i> , 2007
	ycf6	GCCCGAGCAAGACTTACTATATCCAT		



APÊNDICE 2. Gel de agarose (1%) do produto de PCR dos ensaios teste dos marcadores moleculares ITS-4-ITS-5 (A), rps16x2F2-trnK(UUU) (B), atpI-atpH (C), psal-75-accD (D), rps16f-rps16r (E), psbA-trnH (F), trnS-trnG (G), trnA-trnB (H) para 1 biótipo de 13 populações (Cruz Alta, Pontão, Fred. Westphalen, Passo Fundo, Itaquí, São Gabriel, Enc. Do Sul, Ipiranga do Sul, Ponta Grossa, Santa Maria, Pato Branco, Pelotas e Eldorado do Sul). Primeiro poço de cada imagem: Ladder 100 pb.



APÊNDICE 3. Gel de agarose (1%) do produto de PCR dos ensaios teste dos marcadores moleculares *trnC-trnF* (A), *trnD-trnE* (B), *trnA1-trnB1* (C), *psbK-psbL* (D), *rbcLf-rbcLr* (E), *trnV-rRNA* (F), *trnC-ycf6* (G) para 1 biótipo de 13 populações (Cruz Alta, Pontão, Fred. Westphalen, Passo Fundo, Itaqui, São Gabriel, Enc. Do Sul, Ipiranga do Sul, Ponta Grossa, Santa Maria, Pato Branco, Pelotas e Eldorado do Sul). Primeiro poço de cada imagem: Ladder 100 pb.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os danos causados pela presença de capim annoni nas áreas de pastagem sempre foram amplamente reconhecidos e discutidos, mas raramente quantificados. Estudos de perda de diversidade e tempo de recuperação de áreas invadidas, também muito importantes, foram realizados sem que fosse quantificada a perda de maior importância para a produtor: a redução na produtividade de pastagem, que ao fim do ciclo significa o quanto ele está perdendo, ao permitir a convivência do capim annoni com a pastagem que alimenta seu rebanho. Os resultados apresentados do primeiro capítulo demonstram que evitar a entrada de qualquer propágulo que possa iniciar uma infestação é de fundamental importância. Mesmo em diminutas porcentagens de cobertura, que dependendo da condição, pode ser de menos de 4%, os danos causados pelo capim annoni já superam os custos de controle, ou seja, o nível de dano econômico. O NDE, na média geral de todas as áreas e épocas estudadas foi de aproximadamente 10%. Além disso, foi evidenciado que áreas cobertas com aproximadamente 20% de vegetação com capim-annoni podem reduzir pela metade a produtividade da pastagem, independente do sistema de manejo de pastagem adotado.

Para contornar esses graves problemas causados à produção pecuária pelo capim-annoni, é essencial o desenvolvimento de manejos e tecnologias capazes de suprimir ou eliminar essa invasora das áreas de produção. O equipamento de aplicação seletiva, Campo Limpo[®], desenvolvido pela Embrapa Pecuária Sul, é uma das boas alternativas para o manejo do capim-annoni em áreas de pastagem. Apesar de já consolidado no mercado e com expansão de sua utilização, os resultados do presente trabalho, demonstraram que sua eficiência pode ser incrementada por meio de seleção de produto, dose e época de aplicação adequadas. O glyphosate formulado com sal de di-amônio resultou em melhor controle em relação às demais formulações disponíveis no mercado brasileiro. Apesar de mostrar-se superior aos demais, a dose ideal de utilização do mesmo deve ser aumentada para quase três vezes a quantidade utilizada em uma

pulverização convencional. A dose de 2880 g ha⁻¹ proporcionou os melhores índices de controle e menor rebrote de touceiras, sendo que doses superiores a esta, não apresentam incrementos significativos na eficiência. Essa dose foi utilizada como base para os cálculos do nível de dano econômico do primeiro capítulo. Além da escolha de produto e dose, o trabalho evidenciou, que apesar de contribuir com o controle da espécie, aplicações realizadas no fim do inverno apresentam menor eficiência que às realizadas durante o verão, período em que a alta atividade metabólica das plantas favorece a absorção e translocação do herbicida e consequente, morte das plantas.

Devido a fatores como o desconhecimento de valores acima citados, da dificuldade de controle do capim-annoni, da baixa divulgação e aceitação de métodos eficientes de controle como o aplicador seletivo Campo Limpo[®], o capim-annoni continua causando prejuízos, expandindo sua área de invasão e inviabilizando a produção pecuária, em especial nos campos de pastagem natural. Apesar da comprovada eficiência em controlar as touceiras de capim-annoni, a utilização exclusiva de controle químico, seja por meio da aplicação convencional ou por meio do aplicador Campo Limpo[®], seguramente não tornará possível o controle total ou erradicação da espécie dos campos de pastagens naturais. A adoção de outros métodos de interferência relacionados com o manejo dos animais e da pastagem são fundamentais para se diminuir a presença do capim annoni nas pastagens e seus consequentes danos.

O terceiro capítulo abordou a diversidade genética de populações coletadas na região Sul do Brasil. Os resultados evidenciaram que a maioria das populações avaliadas apresentaram baixas diversidades haplotípicas e nucleotídicas o que significa um recente gargalo evolutivo (*bottleneck*) ou um evento fundador por uma ou poucas populações. Estes resultados estão de acordo com o histórico de invasibilidade do capim-annoni no Brasil, onde a infestação ocorreu recentemente e possivelmente a partir de poucos indivíduos como contaminantes de sementes de forrageiras. Também foram observadas elevada variância molecular entre populações, o que indica um relativo isolamento e diferenciação das populações estudadas, evidenciados baixa variabilidade dentro das populações nos resultados da análise da estrutura populacional, ou ocorrência de múltiplas introduções. Estes resultados evidenciam a ocorrência de evolução independente nos mais de 60 anos desde que esta espécie foi introduzida no Brasil.

7 VITA

Mateus Gallon é filho de Mario José Gallon e Salete Terezinha Debortoli Gallon, agricultores, nascido em Anta Gorda/RS no dia 26 de maio de 1990. Em 2007 concluiu o ensino médio na EEEM São Carlos, na cidade natal. Em 2008 iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Santa Maria, campus Frederico Westphalen. Foi monitor das disciplinas de Morfologia Vegetal e Fundamentos da Ciência do Solo durante o terceiro e quarto semestre da graduação. Neste período também iniciou as atividades de iniciação científica na área de Herbologia, sob orientação da Prof.^a Dr.^a. Fabiane Pinto Lamego, onde permaneceu até o final da graduação. Durante este período foi contemplado com bolsa PIBIC/CNPq durante três semestres. Durante a graduação, realizou estágio curricular na CCGL TEC em Cruz Alta/RS no setor de herbologia, sob supervisão do Dr. Mario Antônio Bianchi, entre agosto e dezembro/2012. Formou-se Engenheiro Agrônomo em março/2013. Iniciou o curso de Mestrado em abril/2013 no Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, em Pato Branco/PR, sob orientação do Prof. Dr. Michelangelo Müzell Trezzi, com Bolsa CAPES, concluindo o mesmo em fevereiro/2015. Ingressou no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, nível Doutorado, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em março/2015, com bolsa CAPES-EMBRAPA sob orientação do Prof. Dr. Aldo Merotto Junior.