

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

HUGO FRANCISCON

**PERÍODOS DE CONVIVÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS NO
FEIJOEIRO INOCULADO COM *RHIZOBIUM TROPICI* OU COM ADUBAÇÃO
NITROGENADA**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2017

HUGO FRANCISCON

**PERÍODOS DE CONVIVÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS NO
FEIJOEIRO INOCULADO COM *RHIZOBIUM TROPICI* OU COM ADUBAÇÃO
NITROGENADA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Magister Scientiae.

Orientador: Prof. Dr. Neumárcio Vilanova da Costa

Coorientador: Prof. Dr. Edmar Soares de Vasconcelos

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca da UNIOESTE – Campus de Marechal Cândido Rondon – PR., Brasil)

F819p Franciscon, Hugo
Períodos de convivência das plantas daninhas no feijoeiro inoculado com Rhizobium tropici ou com adubação nitrogenada / Hugo Franciscon. – Marechal Cândido Rondon, 2017.
76 f.

Orientador: Dr. Neumárcio Vilanova da Costa
Coorientador: Dr. Edmar Soares de Vasconcelos

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2017.

1. Feijão. 2. Feijão – Doenças e pragas. 3. Erva daninha. 4. Adubos e fertilizantes. I. Costa, Neumárcio Vilanova da. II. Vasconcelos, Edmar Soares de. III. Título.

CDD 22.ed. 635.652
CIP-NBR 12899

Ficha catalográfica elaborada por Marcia Elisa Sbaraini-Leitzke CRB-9/539



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46

Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>

Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000

Marechal Cândido Rondon - PR.



PARANÁ

GOVERNO DO ESTADO

HUGO FRANCISCON

Períodos de convivência das plantas daninhas no feijoeiro inoculado com *Rhizobium tropici* ou com adubação nitrogenada

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Manejo de Culturas, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a) - Neumárcio Vilanova da Costa

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon
(UNIOESTE)-

José Barbosa Duarte Júnior

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon
(UNIOESTE)

Alfredo Júnior Paiola Albrecht

Universidade Federal do Paraná - Campus de Palotina (UFPR)

Marechal Cândido Rondon, 17 de fevereiro de 2017

À família, instituição primordial da humanidade, a qual surge do amor e se renova por ele. Família que forma pessoas, caráter e valores. Pilar da sociedade, criada por Deus para amparar seus filhos, que vagam pelo mundo.

AGRADECIMENTOS

À Deus, que me permitiu nascer privilegiado, não em riquezas materiais, mas nas realmente valiosas: família, saúde e amigos.

Aos meu pais, Jorge Franciscon e Luzia das Graças Tomadon Franciscon, que me deram amor, me cuidaram, me ensinaram a trabalhar, a estudar, a ser grato pelo o que tenho e a buscar aquilo que quero. Pelos seus esforços incondicionais para me proporcionar o melhor.

À minha amada noiva, Priscila Weber, à minha sogra, Maristela Weber, e família que, além de desempenharem funções fundamentais para a condução deste trabalho, me deram apoio moral, afetivo e material nesta jornada; a eles sou muito grato, pois sem sua ajuda seria impossível ter logrado este objetivo.

À Leandro Rampim, Rafael Massahiro Yassue, Diandra Achre, Vanessa Egewarth, Jonas Egewarth, Ana Wengrat, Almir Wengrat, Alfredo Júnior Paiola Albrecht, Leandro Paiola Albrecht e Nelto Leopoldo Schneider, amigos que me apoiaram durante o período de execução dos estudos, e aos demais amigos que não foram citados.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Neumárcio Vilanova da Costa, e coorientador, Prof. Dr. Edmar Soares de Vasconcelos, pois confiaram em meu potencial e me guiaram nesta empreitada.

Ao corpo docente da UNIOESTE, por sua dedicação e auxílio, que me possibilitaram alcançar o grau de Mestre e me tornar um profissional mais qualificado e sábio.

Aos funcionários do programa de Pós-graduação em agronomia (PPGA), aos funcionários do núcleo de estações experimentais e demais colaboradores da UNIOESTE, que me atenderam com dedicação e atenção.

À UNIOESTE e ao PPGA, por ter me disponibilizado esta oportunidade, e à CAPES pelo financiamento.

A todos, muito obrigado.

“Se um dia tiver que escolher entre o mundo e o amor... Lembre-se. Se escolher o mundo ficará sem o amor, mas se escolher o amor com ele você conquistará o mundo”
(Albert Einstein)

RESUMO

FRANCISCON, Hugo, Mestre, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Fevereiro – 2017. **Períodos de convivência das plantas daninhas no feijoeiro inoculado com *Rhizobium tropici* ou com adubação nitrogenada.** Orientador: Prof. Dr. Neumárcio Vilanova da Costa. Coorientador: Prof. Dr. Edmar Soares de Vasconcelos

Foram realizados dois estudos, o primeiro com o intuito de solucionar um problema metodológico e o segundo visando investigar os efeitos da inoculação e da adubação nitrogenada sobre o período anterior à interferência (PAI) no feijoeiro. **Primeiro estudo:** Há na literatura diferentes metodologias para o estabelecimento de períodos de interferência; porém, nenhuma delas combinou precisão, praticidade e a inclusão de fatores econômicos. Diante disso, foi realizado um estudo com os objetivos de desenvolver uma nova metodologia que incluía critérios econômicos e seja precisa e prática, comprovar sua aplicabilidade e precisão em dados obtidos da literatura e testar sua praticidade com base em dados hipotéticos. Como resultado, obteve-se o método integral, o qual foi testado em dados de períodos de interferência retirados da literatura e comparado com outros métodos, demonstrando-se eficiente; porém, deixou a desejar na praticidade. Para tornar o método mais prático, foi elaborado um banco de equações, o qual foi testado por meio de dados hipotéticos; as equações presentes no banco, demonstraram-se exatas e, assim, permitiram tornar o método integral, além de preciso, prático. Portanto, concluiu-se que o método integral combinou a praticidade, precisão e o uso de fatores econômicos na determinação de períodos de interferência, logrando os objetivos estabelecidos. **Segundo estudo:** o objetivo foi verificar se a substituição da adubação nitrogenada em cobertura pela inoculação com *R. tropici* pode aumentar a tolerância do feijoeiro à matointerferência e, assim, alongar seu PAI. Foram instalados dois experimentos de período de convívio da cultura com as plantas daninhas, durante os anos de 2014 e 2015. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com 4 repetições, em esquema fatorial 2x10, 2 manejos e 10 períodos de convívio. Os períodos, em dias após a emergência (DAE), foram 0 (testemunha), 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63 e 90 (até a colheita). Ao final de cada período foi realizado o levantamento florístico, calculada a densidade e massa seca de cada espécie de planta daninha. Também foi elaborada uma curva de acúmulo de massa seca da parte aérea da cultura e determinados os seus estádios fenológicos. Na colheita foi realizada a contagem da população de plantas de feijoeiro e determinada a massa de mil grãos e a produtividade da cultura. O PAI foi determinado pelo método integral, o critério usado para se determinar a perda

tolerada foi o critério econômico do PADRE. A substituição da adubação nitrogenada em cobertura pela inoculação com *Rhizobium tropici* não aumentou a capacidade da cultura em competir com as plantas daninhas e não alongou o PAI, o qual foi proporcionado pelo uso da adubação nitrogenada em cobertura. O PAI para o feijoeiro sob o manejo sem adubação nitrogenada em cobertura e com inoculação (sem N) ficou entre 17,80 e 49,51 DAE na média dos anos; enquanto que quando sob o manejo com adubação em cobertura e sem inoculação o PAI se situou entre 26,38 e 57,06 DAE, na média dos anos.

Palavras-chave: Períodos de interferência. Metodologia. PAI. PADRE. *Phaseolus vulgaris*. Matointerferência. Manejo.

ABSTRACT

FRANCISCON, Hugo, Master Universidade Estadual do Oeste do Paraná, February – 2017. **Weed coexistence periods in the bean crop inoculated with *Rhizobium tropici* or with nitrogen fertilization.** Advisor: Prof. Dr. Neumárcio Vilanova da Costa. Co-Advisors: Prof. Dr. Edmar Soares de Vasconcelos.

Two researches were conducted, the first in order to solve a methodological problem and the second aimed to investigate the effects of inoculation and nitrogen fertilization on the period prior to interference (PPI) in bean crop. **First research:** In the literature there are different methodologies for the establishment of interference periods; however, none of them combined accuracy, practicality and the inclusion of economic factors. Therefore, a research was carried out aiming the development of a new methodology that includes economic factors, accuracy and practicality; proving their applicability and accuracy in the data obtained from the literature and test its practicality based on hypothetical data. The integral method was obtained as a result, which was tested on interference periods data from the literature and compared with other methods, proving to be efficient; however, it fell short in practicality. To make the method more practical, a equations bank was elaborated, which was tested by means of hypothetical data; the equations present in the bank, proved to be accurate and, thus, made it possible to make the integral method, besides being precise, practical. Therefore, it was concluded that the integral method combined the practicality, precision and the use of economic factors in the determination of interference periods, achieving the established objectives. **Second research:** The objective was to verify if the substitution of the broadcast nitrogen fertilization by the inoculation with *R. tropici* can increase the bean crop tolerance to the weed interference and, thus, to extend its PPI. Two experiments of coexistence periods were installed during the seasons of 2014 and 2015. The experimental design was a randomized block design, with 4 replications, in a 2x10 factorial scheme, 2 handlings and 10 coexistence periods. The periods, in days after emergence (DAE), were 0 (control), 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63 and 90 (until harvest). At the end of each period the floristic survey was performed, calculating the density and dry mass of each weed species. A curve of accumulation of dry mass of the aerial part of the crop was also elaborated and its phenological stages determined. At harvest was performed to count the population of bean plants and determined the thousand grain weight and productivity of the culture. The PPI was determined by the integral method, the criterion used

to determine the tolerated loss was the economic criterion of the WEEPEL. The substitution of broadcast nitrogen fertilization by inoculation with *Rhizobium tropici* did not increase the crop ability to compete with weeds and did not lengthen the PPI, which was provided by the use of broadcast nitrogen fertilization. The PPI for the bean under handling without broadcast nitrogen fertilization and with inoculation (without N) was between 17.80 and 49.51 DAE in mean of seasons; While when under handling with broadcast nitrogen fertilization and without inoculation the PPI was between 26.38 and 57.06 DAE, in mean of seasons.

Keywords: Interference periods. Methodology. PPI. WEEPEL. *Phaseolus vulgaris*. Weed interference. Handling.

ÍNDICE DE FIGURAS – ARTIGO 1

- Figura 1.** Determinação do PCPI para os dados de produtividade de mandioca em função de períodos de convívio e de controle obtidos do artigo de Johanns e Contiero (2006), por meio da metodologia utilizada por Hall, Swanton e Anderson (1992) 13
- Figura 2.** Dados hipotéticos de produtividade de uma cultura hipotética em relação a períodos de controle de plantas daninhas, em dias após a emergência, com comportamento linear..... 16
- Figura 3.** Segmentação de dados de períodos de convívio em equações lineares, como realizado por Vidal et al. (2004), em dados hipotéticos de uma cultura indeterminada. 17
- Figura 4.** Dados hipotéticos de produtividade de uma cultura hipotética em relação a períodos de convívio, em dias após a emergência, de comportamento sigmoide-logístico e segmentados em apenas um polinômio linear (0 – 90 DAE), como realizado por Vidal, Fleck e Merotto Jr. (2005). 18
- Figura 5.** Exemplo da aplicação da metodologia de Keller et al. (2014) em dados de rendimento tendo base os dados de períodos de controle sobre a cultura da mandioca extraídos de Johanns e Contiero (2006), apresentados na Tabela 1, com base num valor de produto igual a 300 R\$ Mg⁻¹; custo de produção hipotético da mandioca em relação aos períodos de controle das plantas daninhas; e lucro estimado (rendimento – custo).....20
- Figura 6.** Exemplo da aplicação da metodologia de Keller et al. (2014) em dados de rendimento tendo base os dados de períodos de convívio sobre a cultura da mandioca extraídos de Johanns e Contiero (2006), apresentados na Tabela 1, com base num valor de produto igual a 300 R\$ Mg⁻¹; custo de produção hipotético da mandioca em relação aos períodos de convívio das plantas daninhas; e lucro estimado (rendimento – custo).....21
- Figura 7.** Dados de produtividade de mandioca em função de períodos de convívio e de controle, extraídos do trabalho de Johanns e Contiero (2006), ajustados a uma equação sigmoide-logística de 4 parâmetros e à equação de Gompertz de 3 parâmetros, respectivamente.....24
- Figura 8.** Dados de produtividade de mandioca em função de períodos de convívio e de controle, extraídos do trabalho de Johanns e Contiero (2006), ajustados à regressão

linear do período 0 a 150 DAE, em períodos de convívio, e de 0 a 120 DAE, em períodos de controle, para a aplicação do método do PADRE.....	27
Figura 9. Dados fictícios de produtividade de uma cultura indeterminada em relação a períodos crescentes de controle utilizados para o ajuste e teste das equações do Grupo I.....	35
Figura 10. Dados fictícios de produtividade de uma cultura indeterminada em relação a períodos crescentes de controle e de convívio utilizados para o ajuste e teste das equações do Grupo II.....	35
Figura 11. Dados fictícios de produtividade de uma cultura indeterminada em relação a períodos crescentes de controle convívio utilizados para o ajuste e teste das equações do Grupo III	36
Figura 12. Dados fictícios de produtividade de uma cultura indeterminada em relação a períodos crescentes de controle utilizados para o ajuste e teste das equações do Grupo IV.....	36

ÍNDICE DE FIGURAS – ARTIGO 2

- Figura 1.** Dados meteorológicos referentes às médias decendiais da temperatura média (T Média), máxima (T Máxima) e mínima (T Mínima) e o acumulado pluviométrico decenal, no período de execução do primeiro experimento, do início do mês de agosto ao final do mês de dezembro de 2014 (A) e do início do mês de agosto ao final do mês de dezembro de 2015 (B)..... 48
- Figura 2.** Densidade de plantas daninhas existentes durante o período de desenvolvimento da cultura, para o manejo sem N e com N na média dos anos 59
- Figura 3.** Massa seca das plantas daninhas existentes durante o período de desenvolvimento da cultura, para o manejo sem N e com N na média dos anos 60
- Figura 4.** Curva de acúmulo de massa seca da parte aérea da cultura ao longo dos dias após a emergência e estádios fenológicos, para o feijoeiro sem N e com N, livre de matointerferência, na média dos anos..... 60
- Figura 5.** População final da cultura em relação aos períodos crescentes de convívio com as plantas daninhas, em dias após a emergência e estádios fenológicos da cultura, sob o manejo sem N e com N..... 63
- Figura 6.** Produtividade da cultura do feijoeiro em função de períodos crescentes de convívio com plantas daninhas, sob dois manejos distintos: sem adubação nitrogenada e inoculado com *R. tropici* (sem N) e com adubação nitrogenada e não inoculado (com N), na média dos anos 64
- Figura 7.** Esquema das correlações diretas e indiretas das variáveis população final da cultura, massa seca de plantas daninhas e densidade de plantas daninhas em relação à variável produtividade da cultura, determinadas por meio de análise de trilha..... 66
- Figura 8.** População final da cultura do feijoeiro em relação à massa seca de plantas daninhas existente ao final do período de convívio, sob o manejo sem N e com N, na média dos anos.. 67
- Figura 8.** Produtividade da cultura do feijoeiro em relação à massa seca de plantas daninhas acumulada ao final do período de convívio, sob os manejos sem N e com N, na média dos anos..... 68
- Figura 10.** Comportamento do período anterior à interferência (PAI) em relação a variações no custo de controle e valor do produto, para feijoeiro sob dois diferentes manejos da adubação nitrogenada, sem N (A) e com N (B)..... 70

ÍNDICE DE TABELAS – ARTIGO 1

Tabela 1.	Produtividade de mandioca submetida a períodos de convívio e de controle das plantas daninhas, extraídos do artigo de Johanss e Contiero (2006).....	12
Tabela 2.	Rendimento (kg ha^{-1}) calculados sobre dados de períodos de interferência sobre a cultura da mandioca extraídos de Johanss e Contiero (2006), apresentados na Tabela 1, com base num valor de produto igual a $300 \text{ R\$ Mg}^{-1}$; custo de produção hipotético da mandioca em relação aos períodos de convívio e de controle das plantas daninhas; e lucro estimado (rendimento – custo) em $\text{R\$ ha}^{-1}$	19
Tabela 3.	Lista de equações que se adequação ao estudo de períodos de interferência, como descritas nos programas estatísticos Sigma Plot 11.0 ⁽¹⁾ e Origin 8 ⁽²⁾ , separadas conforme seus respectivos grupos: equações exponenciais, logarítmicas e polinomial quadrática (Grupo I), equações de distribuição simétrica (Grupo II) e polinomial linear (III)	30
Tabela 4.	Lista de equações do Grupo II, grupo das equações sigmoide-logísticas, que se adequação ao estudo de períodos de interferência, como descritas nos programas estatísticos Sigma Plot 11.0 ⁽¹⁾ e Origin 8 ⁽²⁾	31
Tabela 5.	Lista das equações invertidas para facilitar a aplicação do método integral, separadas conforme seus respectivos grupos: equações exponenciais, logarítmicas e polinomial quadrática (Grupo I), equações de distribuição simétrica (Grupo II) e polinomial linear (Grupo III)	32
Tabela 6.	Lista das equações do grupo do Grupo II, grupo das equações sigmoide-logísticas, invertidas para facilitar a aplicação do método integral	33
Tabela 7.	Dados hipotéticos de produtividade de uma cultura indeterminada submetida a períodos crescentes de convívio e de controle, utilizados para o teste das equações exponenciais, logarítmicas e quadrática (Grupo I), sigmoides e logísticas (Grupo II), equações de distribuição simétrica (Grupo III) e polinomial linear (Grupo IV)	34
Tabela 8.	Período anterior à interferência (PAI), período total de prevenção da interferência (PTPI) e período crítico de prevenção à interferência (PCPI) de uma cultura hipotética, calculados por meio do método integral, com perda tolerada baseada nos fatores econômicos do PADRE	38

ÍNDICE DE TABELAS – ARTIGO 2

Tabela 1. Resultado das análises químicas realizadas para as áreas em que foram instalados os experimentos	47
Tabela 2. Produtos comerciais (p.c.) utilizados para calcular o custo do herbicida, utilizado na determinação do PADRE, e seus respectivos ingredientes ativos, doses de bula e preços praticados em revendas locais	53
Tabela 3. Quadrado médio do resíduo obtido para cada variável em cada ano de experimentação, e as respectivas razões entre o maior e o menor Q.M.R., para cada variável	55
Tabela 4. Análise de variância conjunta dos experimentos, realizada para as variáveis densidade de plantas daninhas (Densidade PD), massa seca de plantas daninhas (MSPD), população de plantas (População), massa de mil grãos (1000 grãos) e produtividade	56
Tabela 5. Espécies de plantas daninhas identificadas durante a execução do experimento no manejo sem N na média dos anos e suas respectivas densidades relativas (D.R. %) e massas secas relativas (M.R. %)	57
Tabela 6. Espécies de plantas daninhas identificadas durante a execução do experimento no manejo com N na média dos anos e suas respectivas densidades relativas (D.R. %) e massas secas relativas (M.R. %)	58
Tabela 7. Valores dos coeficientes obtidos no ajuste dos dados de produtividade em função dos dias de convívio com as plantas daninhas à função de Gauss, e os coeficientes de determinação (R^2)	64
Tabela 8. Correlações entre as variáveis produtividade da cultura (Produtividade), população final da cultura (População), massa seca de plantas daninhas (MSPD) e densidade de plantas daninhas (Densidade PD)	65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	1
2	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4
3	ARTIGO 1: USO DO CUSTO DE CONTROLE COMO CRITÉRIO PARA A DETERMINAÇÃO DE PERÍODOS DE MATOINTERFERÊNCIA	5
3.1	INTRODUÇÃO.....	7
3.2	CONSIDERAÇÕES SOBRE OS PRINCIPAIS MÉTODOS UTILIZADOS NA DETERMINAÇÃO DE PERÍODOS DE INTERFERÊNCIA	11
3.3	DESENVOLVIMENTO DA NOVA METODOLOGIA.....	23
3.4	ELABORAÇÃO E TESTE DO BANCO DE EQUAÇÕES.....	29
3.5	CONCLUSÕES.....	39
3.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
4	ARTIGO 2: PERÍODOS DE CONVIVÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS NO FEIJOEIRO INOCULADO COM <i>RHIZOBIUM TROPICI</i> OU COM ADUBAÇÃO NITROGENADA	43
4.1	INTRODUÇÃO.....	45
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	47
4.2.1	Local, solo, dados meteorológicos e preparo da área experimental	47
4.2.2	Delineamento experimental, descrição dos tratamentos e instalação dos experimentos.....	49
4.2.3	Avaliações	50
4.2.4	Métodos estatísticos e equações utilizadas.....	51
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.3.1	Análise de variância	55
4.3.2	Plantas daninhas	57
4.3.3	Efeitos do convívio com as plantas daninhas sobre a população final da cultura, a massa de mil grãos e a produtividade.....	63
4.3.4	Efeito dos manejos sobre o Período Anterior à Interferência (PAI)	69
4.4	CONCLUSÕES.....	72
4.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
5	CONCLUSÕES GERAIS	76

1 INTRODUÇÃO GERAL

O manejo integrado de plantas daninhas se apresenta como uma ferramenta importante para evitar danos por matointerferência, de maneira sustentável e consciente. Para isso, se faz necessário o conhecimento básico sobre as plantas daninhas, a cultura e as ferramentas de controle. Dentre eles, estão os períodos de interferência, fases do desenvolvimento das culturas em que estas estão mais suscetíveis à matointerferência (SWANTON et al., 2008).

Os períodos de interferência são tradicionalmente compostos pelo período anterior à interferência (PAI), o período total de prevenção à interferência (PTPI) e o período crítico de prevenção à interferência (PCPI).

O PAI constitui-se do período, contado da implantação ou emergência, no qual a cultura se desenvolve em convívio com as plantas daninhas sem sofrer danos significativos. O PTPI apresenta-se como o período, contado da implantação ou emergência, no qual deve ser realizado o controle das plantas daninhas para que a cultura não sofra danos significativos. O PCPI caracteriza-se por ser o período no qual não deve haver convívio da cultura com as plantas daninhas, para que não haja danos significativos (PITELLI; DURINGAN, 1984).

A determinação desses períodos pode ser realizada por meio do estudo de períodos crescentes de convívio da cultura com as plantas daninhas e de controle das plantas daninhas em meio à cultura (AGOSTINETTO et al., 2008).

Após obtidos os dados experimentais, há a necessidade de se determinar os períodos com base em métodos matemáticos e estatísticos. Há várias vias, como o uso de testes de comparações múltiplas de médias (AKOBUNDU, 1981) e o uso de modelos de regressão não-linear com a adoção de uma perda percentual arbitrária (HALL; SWANTON; ANDERSON, 1992). Há inclusive conceito de períodos análogos, como o período anterior à interferência (PADRE), apresentado por Vidal, Fleck e Merotto Jr. (2005), e o período ótimo de controle das plantas daninhas, desenvolvido por Keller et al. (2014), os quais levam em consideração fatores econômicos.

Cada metodologia apresenta vantagens e desvantagens. Enquanto que os métodos do teste de comparações múltiplas de médias, o de Hall, Swanton e Anderson (1992), que podemos chamar de método da perda percentual arbitrária, e o PADRE, apresentam-se simples, o método do período ótimo de controle das plantas daninhas demonstra-se mais complexo. Por outro lado, enquanto que os métodos da perda percentual arbitrária e do ponto ótimo de controle das plantas daninhas apresentam-se precisos e versáteis do ponto de vista estatístico, o método do teste de

comparações múltiplas de médias e o PADRE demonstram ter falhas estatísticas ou dificuldade de adaptação à dados de comportamentos diversos.

Entretanto, nenhum dos métodos apresentados reúnem praticidade, versatilidade, precisão e uso de critérios econômicos. Havendo, assim, a necessidade do desenvolvimento de uma nova metodologia. O que poderia ser realizado ao se combinar a precisão, a praticidade e a versatilidade do método da perda tolerada arbitrária com a simplicidade e os critérios econômicos adotados no PADRE.

Porém, para se obter um manejo eficiente e sustentável das plantas daninhas, não basta apenas conhecer os períodos de interferência; necessita-se entender a ação de fatores, como o manejo da cultura, interfere sobre a dinâmica da matointerferência, e, por sua vez, nos períodos de interferência.

Dentre as práticas de manejos que podem interferir nos períodos de interferência, destaca-se o manejo da adubação. Pois, quando a cultura se encontra sob matointerferência, disputa diretamente com as plantas daninhas por recursos, como água e nutrientes. As plantas daninhas, durante seu desenvolvimento, absorvem e acumulam nutrientes em seus tecidos, de modo a reduzir a disponibilidades desses para a cultura coexistente (BLACKSHAW; BRANDT, 2008; RONCHI; TERRA; SILVA, 2007).

O manejo da adubação nitrogenada pode interferir na composição de espécie daninhas da comunidade (PYŠEK; LEPŠ, 1991), no desenvolvimento e na competitividade das plantas daninhas (BLACKSHAW; BRANDT, 2008), além de influenciarem na suscetibilidade da cultura à matocompetição (KABBA; KNIGHT; VAN REES, 2011).

Além disso, as plantas daninhas, por serem selecionadas naturalmente pela capacidade de sobrevivência, tendem a apresentar maior eficiência no aproveitamento dos recursos naturais e, por tanto, maior capacidade competitiva (PLACE et al., 2008).

O feijoeiro, por exemplo, possui menor capacidade de resposta ao fornecimento de nitrogênio que algumas plantas daninhas. Procópio et al. (2004) ao compararem a eficiência de absorção do nitrogênio pela cultura do feijão e por três diferentes espécies de plantas daninhas, observaram que ao aplicar doses crescentes de nitrogênio, as plantas daninhas apresentaram incremento superior de área foliar e de massa radicular.

Entretanto, o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), por ser uma leguminosa, apresenta um diferencial específico em relação às demais plantas no que diz à adubação nitrogenada; possui a capacidade de se associar simbioticamente a bactérias diazotróficas e, assim, obter boa parte do nitrogênio demandado durante seu desenvolvimento (PELEGRIN et al., 2009; REIS

JÚNIOR et al., 2011). Deste modo, o fornecimento de nitrogênio via adubação, principalmente em cobertura, apresenta-se opcional para a obtenção de altas produtividade, uma vez que pode ser suplantado pela simbiose.

Deste modo, ao aplicar-se fertilizantes nitrogenados em área total, pode-se aumentar a competitividade das plantas daninhas em relação à cultura. Assim, haveria uma maior matointerferência e dificuldade de manejar as plantas daninhas. Contudo, esse problema teoricamente poderia ser solucionado pela substituição da adubação nitrogenada em cobertura pelo inoculação com bactérias diazotróficas.

Esse trabalho foi desenvolvido com o intuito de comprovar duas hipóteses: ao se substituir a perda percentual arbitrária, no método de Hall, Swanton e Anderson (1992), pelo critério econômico descrito por Vidal, Fleck e Merotto Jr. (2005) seria possível determinar os períodos de interferência com base em critérios econômicos, de maneira prática, precisa e versátil; o feijoeiro inoculado poderia ter uma fonte exclusiva e eficiente de nitrogênio, o que tornaria a cultura mais competitiva em relação à comunidade de plantas daninhas e poderia alongar seu PAI.

Portanto, os objetivos foram desenvolver uma nova metodologia que inclua critérios econômicos e que seja precisa, prática e versátil, comprovar sua aplicabilidade e precisão em dados obtidos da literatura e testar sua praticidade com base em dados hipotéticos; determinar o PAI em feijoeiro sob diferentes manejos da adubação nitrogenada e verificar se a substituição da adubação nitrogenada em cobertura pela inoculação com *R. tropici* pode gerar vantagem competitiva ao feijoeiro.

2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINETTO, D. et al. Período crítico de competição de plantas daninhas com a cultura do trigo. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 271–278, 2008.

AKOBUNDU, I.O. Weed interference and control in white yam (*Dioscorea rotundata* Poir). **Weed Research**, v. 21, n. 6, p. 267–272, 1981.

BLACKSHAW, R.E.; BRANDT, R.N. Nitrogen fertilizer rate effects on weed competitiveness is species dependent. **Weed Science**, v. 56, n. 5, p. 743–747, 2008.

HALL, M.R.; SWANTON, C.J.; ANDERSON, G.W. The critical period of weed control in grain corn (*Zea mays*). **Weed Science**, v. 40, n. 3, p. 441–447, 1992.

KABBA, B.S.; KNIGHT, J.D.; VAN REES, K.C.J. Modeling nitrogen uptake for hybrid poplar with and without weed competition. **Forest Ecology and Management**, v. 262, n. 2, p. 131–138, 2011.

KELLER, M. et al. Integrating economics in the critical period for weed control concept in corn. **Weed Science**, v. 62, n. 4, p. 608–618, 2014.

PELEGRIN, R.D. et al. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 219–226, 2009.

PITELLI, R.A.; DURIGAN, J.C. Terminologia para períodos de controle e de convivência das plantas daninhas em culturas anuais e bianuais. In: Congresso Brasileiro de Herbicidas e Plantas daninhas, 15, 1984, Belo Horizonte-MG, **Resumos...** Piracicaba-SP: SBHED, 1984. p.37.

PLACE, G. et al. Root penetration through a high bulk density soil layer: differential response of a crop and weed species. **Plant and Soil**, v. 307, n. 1–2, p. 179–190, 2008.

PYŠEK, P.; LEPŠ, J. Response of a weed community to nitrogen fertilization a multivariate analysis. **Journal of Vegetation Science**, v. 2, n. 2, p. 237–244, 1991.

REIS JÚNIOR, F.B. dos; MENDES, I.C.; REIS, V.M.; HUNGRIA, M. Fixação biológica de nitrogênio: uma revolução na agricultura. In: FALEIRO, F.G.; ANDRADE, S.R.M. de; REIS JÚNIOR, F.B. dos (Ed.) **Biotecnologia: estado da arte e aplicações na agricultura**. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2011. p. 247-281.

RONCHI, C.P.; TERRA, A.A.; SILVA, A.A. Growth and nutrient concentration in coffee root system under weed species competition. **Planta Daninha**, v. 25, n. 4, p. 679–687, 2007.

SWANTON, C.J. et al. Integrated weed management: knowledge-based weed management systems. **Weed Science**, v. 56, n. 1, p. 168–172, 2008.

VIDAL, R.A.; FLECK, N.G.; MEROTTO JR., A. Período anterior ao dano no rendimento econômico (PADRE): nova abordagem sobre os períodos de interferência entre plantas daninhas e cultivadas. **Planta Daninha**, v. 23, n. 3, p. 387–396, 2005.

3 ARTIGO 1: USO CRITÉRIOS ECONÔMICOS NA DETERMINAÇÃO DE PERÍODOS DE INTERFERÊNCIA

RESUMO: Há na literatura diferentes metodologias para o estabelecimento de períodos de interferência; porém, nenhuma delas combinou precisão, praticidade, versatilidade e a inclusão de fatores econômicos. Como alternativa, foi proposto o desenvolvimento de uma nova metodologia baseada na substituição da perda tolerada baseada em um percentual arbitrário por fatores econômicos, o custo de controle das plantas daninhas e o valor do produto. Diante disso, foi realizado um estudo com os objetivos de desenvolver uma nova metodologia que incluía critérios econômicos e seja precisa, prática e versátil, comprovar sua aplicabilidade e precisão em dados obtidos da literatura e testar sua praticidade com base em dados hipotéticos. Como resultado, obteve-se o método integral, o qual foi testado em dados de períodos de interferência retirados da literatura e comparado com outros métodos, demonstrando-se eficiente e versátil; porém, deixou a desejar na praticidade. Para tornar o método mais prático, foi elaborado um banco de equações, o qual foi testado por meio de dados hipotéticos; as equações presentes no banco, demonstraram-se exatas e, assim, permitiram tornar o método integral, além de preciso, prático. Portanto, concluiu-se que o método integral combinou a praticidade, precisão, versatilidade e o uso de fatores econômicos na determinação de períodos de interferência, logrando os objetivos estabelecidos.

Palavras-chave: Períodos de interferência. Metodologia. PADRE. Fatores econômicos.

USE OF ECONIMICS CRITERION FOR THE DETERMINATION OF INTERFERENCE PERIODS

ABSTRACT: In the literature there are different methodologies for the establishment of interference periods; however, none of them combined accuracy, practicality, versatility and the inclusion of economic factors. As an alternative, it was proposed the development of a new methodology based on the substitution of the tolerated loss based on an arbitrary percentage by economic factors, the weed control cost and the product value. Therefore, a research was carried out aiming the development of a new methodology that includes economic factors, accuracy, practicality and versatility; proving their applicability and accuracy in the data obtained from the literature and test its practicality based on hypothetical data. The integral method was obtained as a result, which was tested on interference periods data from the literature and compared with other methods, proving to be efficient and versatile; however, it fell short in practicality. To make the method more practical, a equations bank was elaborated, which was tested by means of hypothetical data; the equations present in the bank, proved to be accurate and, thus, made it possible to make the integral method, besides being precise, practical. Therefore, it was concluded that the integral method combined the practicality, precision, versatility and the use of economic factors in the determination of interference periods, achieving the established objectives.

Keywords: Interference periods. Methodology. WEEPEL. Economic factors.

3.1 INTRODUÇÃO

Os períodos de interferência consistem basicamente de três: o período anterior à interferência (PAI), período total de prevenção à interferência (PTPI) e período crítico de prevenção à interferência (PCPI). O PAI descreve o período até o qual a cultura pode conviver com as plantas daninhas sem que estas interfiram em sua produtividade; o PTPI consiste no período até o qual a cultura deve ser mantida livre do convívio das plantas daninhas para que estas não interfiram em sua produtividade; e o PCPI apresenta-se como o período da cultura em que o convívio desta com plantas daninhas resulta em perdas, havendo, assim, a necessidade do controle (PITELLI; DURINGAN, 1984).

Na área da Ciência das Plantas Daninhas, os estudos sobre períodos de interferência apresentam-se como importantes ferramentas para o estabelecimento de estratégias de manejo eficiente e racional das plantas daninhas (KNEZEVIC et al., 2002). Entretanto, para que as informações geradas por esses estudos realmente sirvam para sua finalidade, se faz necessário que os métodos estatísticos e matemáticos empregados sejam adequados (COUSENS, 1988).

Durante a evolução do conceito de períodos de interferência, foram elaboradas e utilizadas diferentes metodologias, como testes de comparações múltiplas de médias, regressão linear, regressão não-linear, etc. Nos primeiros trabalhos foram adotados testes de comparações múltiplas de médias, como o teste LSD (AKOBUNDU, 1981; WEAVER, 1984).

Entretanto, como demonstrado posteriormente por Cousens (1988), o teste de comparações múltiplas de médias não deveria ser utilizado na determinação de períodos de interferência, pois os dados utilizados são quantitativos, ou seja, representam a resposta da cultura a períodos crescentes de convívio e de controle; portanto, os dados deveriam ser analisados por meio de regressão. Além disso, ao se utilizar o teste de comparações múltiplas de médias, pode-se interpretar como estatisticamente insignificantes perdas de produtividade economicamente relevantes (KNEZEVIC et al., 2002).

Em virtude disso, Hall, Swanton e Anderson (1992), ao determinarem PCPI na cultura do milho, ajustaram os dados de períodos de controle à equação de Gompertz, como recomendado por Cousens (1988), e os dados de períodos de convívio a uma equação sigmoideológica proposta por Ratkowsky (1990). Para determinar os períodos os autores adotaram, arbitrariamente, como tolerável a perda de 2% de produtividade em relação à máxima produtividade prevista pelo modelo.

A metodologia elaborada por Hall, Swanton e Anderson (1992) foi adotada e adaptada por outros pesquisadores, como Weaver, Kropff e Groeneveld (1992), Van Acker, Swanton e Weise (1993), Martin, Van Acker e Friesen (2001), Amador-Ramirez (2002), Gustafson et al.

(2006), Ahmadvand, Mondani e Golzardi (2009), Silva et al. (2009), Otto, Lodo e Zanin (2010), Swanton, O'Sullivan e Robinson (2010), Dillehay, Curran e Mortensen (2011), Fedoruk, Johnson e Shirtliffe (2011), Stagnari e Pisante (2011), Karkanis et al. (2012), Frenda et al. (2013), Odero e Wright (2013), Hugo et al. (2014) e Korres e Norsworthy (2015).

Porém, apesar da ampla utilização, Hall, Swanton e Anderson (1992) ao elaborarem sua metodologia não visaram estabelecê-la como um padrão a ser seguido, nem sequer evidenciaram suas vantagens sobre as metodologias antecessoras. Conseqüentemente, em alguns trabalhos posteriores houve a adoção de metodologias alternativas (COSTA et al., 2013; MESCHÉDE et al., 2002), inclusive da metodologia do teste de comparações múltiplas de médias (JOHANNES; CONTIERO, 2006).

Ademais, o uso de um percentual arbitrário de perda como tolerada na determinação do PCPI não foi aceito por alguns autores, como Kozlowski (2002), Vidal, Fleck e Merotto Jr. (2005) e Keller et al. (2014), os quais recorreram a outros métodos. Pode-se apresentar dentre esses métodos o uso da diferença mínima significativa, calculada por meio de teste de comparações múltiplas, como perda tolerada (KOZLOWSKI et al., 2002), o que recai no problema levantado por Cousens (1988) e reforçado por Knezevic et al. (2002); e a adoção de critérios econômicos (KELLER et al., 2014; VIDAL; FLECK; MEROTTO JR., 2005).

Ao se adotar critérios econômicos ao invés de uma perda percentual arbitrária evita-se a possibilidade de se gastar com o controle das plantas daninhas mais do que estas gerariam de prejuízo à cultura, que torna os resultados do estudo sobre períodos de interferência economicamente mais eficientes e aptos de serem aplicados em uma área comercial.

Na metodologia de Vidal, Fleck e Merotto Jr. (2005) os autores consideraram que o final de um período de interferência deve ser aquele em que a perda de rendimento prevista para a cultura fosse igual ao custo de controle das plantas daninhas. Essa metodologia apresenta como vantagem sua simplicidade, pois utiliza de uma equação simples cujos coeficientes são obtidos do ajuste dos dados à regressão linear. Em contrapartida, apresenta limitações matemáticas e estatísticas, como a dificuldade de utilização em dados de comportamento não-linear e ao fato de sua equação não se adequar à dados de períodos de controle, de modo a se restringir ao PAI, denominado pelos autores de período anterior ao dano no rendimento econômico PADRE.

A metodologia de Keller et al. (2014), por outro lado, consiste na obtenção e uso de três equações: a que descreve o rendimento da cultura em relação aos períodos de controle, obtida pela regressão dos dados; a que descreve o custo de produção em relação aos períodos de controle; e a que descreve o lucro, pela diferença entre a equação do rendimento da cultura

e a de custo de produção. O final do período de controle incide no ponto de máxima da equação de lucro, dentro do domínio da função (ciclo da cultura).

As vantagens da metodologia de Keller et al. (2014) estão na possibilidade de ser aplicada em dados de comportamento não linear e na determinação não tão somente do período de maior viabilidade econômica para o controle das plantas daninhas, mas também do número de intervenções economicamente viáveis. As desvantagens, por outro lado, são a necessidade da interpretação e adaptação do método, pelo usuário, para determinar o PAI e PCPI, tendo em vista que os autores demonstraram o uso do método apenas sobre o PTPI; e por ser um método complexo, que pode se demonstrar exaustivo, principalmente se for realizado um grande número de simulações para quadros econômicos distintos.

Em resumo, a metodologia de Hall, Swanton e Andersomn (1992) adequa-se ao PAI, PTPI e PCPI; porém não contempla o uso de critérios econômicos. A metodologia de Vidal, Fleck e Merotto Jr. (2005) adota uma perda tolerada com base em critérios econômicos simples; entretanto, restringe-se ao PAI e apresenta-se dificultosa ao ser aplicada a dados de comportamento não-linear. A metodologia de Keller et al. (2014) apresenta-se exitosa ao determinar os períodos de interferência com base em critérios econômicos; todavia, demonstra-se demasiadamente complexa.

Entretanto, ao se substituir, na metodologia descrita por Hall, Swanton e Anderson (1992), a perda tolerada arbitrária pelo critério econômico de Vidal, Fleck e Merotto Jr. (2005), de que o final do PAI ou do PTPI incide no ponto em que a perda de produtividade se equivale ao custo de controle, pode-se determinar de maneira prática e precisa os períodos de interferência com base no comportamento biológico da cultura e em fatores econômicos, como sugerido por Cousens (1988).

Deste modo, dentro desta nova metodologia, bastaria inverter a equação obtida por meio da regressão dos dados, adotando-se o modelo de melhor ajuste, de modo que retorne o período (variável independente x) em relação ao uma dada produtividade (variável dependente y). A produtividade em questão seria a diferença entre a produtividade máxima prevista pelo modelo e a perda de produtividade tolerada calculada com base nos critérios de Vidal, Fleck e Merotto Jr. (2005); denominada de produtividade crítica, por consistir no ponto de mudança da não-interferência para a interferência e *vice-versa*.

Além disso, após obtida a equação inversa, a realização de um grande número de simulações sob diversos quadros econômicos se apresentaria fácil. Pois, bastaria substituir as variáveis na equação.

Portanto, o presente estudo baseia-se na hipótese de que ao se substituir a perda tolerada arbitrária, no método de Hall, Swanton e Anderson (1992), pelo critério econômico descrito por Vidal, Fleck e Merotto Jr. (2005) seria possível determinar os períodos de interferência com base em critérios econômicos, de maneira prática, precisa e versátil.

Os objetivos deste estudo foram desenvolver uma nova metodologia que inclua critérios econômicos e que seja precisa, prática e versátil; comprovar sua aplicabilidade e precisão em dados obtidos da literatura e testar sua praticidade com base em dados hipotéticos.

3.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS PRINCIPAIS MÉTODOS UTILIZADOS NA DETERMINAÇÃO DE PERÍODOS DE INTERFERÊNCIA

Para a determinação de períodos de interferências em culturas agrícolas utiliza-se um esquema de períodos crescentes de convivência e de controle das plantas daninhas com a cultura de interesse. Dos períodos de convivência determina-se o PAI, dos de controle o PTPI, e, quando o PAI apresenta-se inferior ao PTPI, calcula-se o PCPI da diferença entre ambos. Esse esquema de ensaio está presente desde os primeiros trabalhos (NIETO; BRONDO; GONZALEZ, 1968; KNEZEVIC; DATTA, 2015).

A metodologia estatística adotada nos primeiros estudos baseava-se no teste de comparações múltiplas de médias. Akobundu (1981), por exemplo, adotaram esquema de períodos crescentes de convívio e de controle espaçados entre si em 4 semanas. Para determinar o final dos períodos, compararam a produtividade média de cada tratamento com a da testemunha, representada pela cultura sem matointerferência, por meio do teste de comparações múltiplas de média LSD. Assim, no último período estatisticamente semelhante à testemunha, para o PAI, ou no primeiro, para o PTPI, incidiu o final dos períodos de interferência.

Weaver (1984) adotaram uma metodologia muito semelhante à de Akobundu (1981). A principal diferença entre ambas, foi que Weaver (1984) utilizaram intervalos entre períodos de 2 semanas, ao invés de 4. Pode-se compreender mais claramente o uso dessa metodologia ao se observar o trabalho de Johanns e Contiero (2006), os quais utilizaram uma metodologia muito semelhante na determinação PCPI na cultura da mandioca (Tabela 1), o qual compreendeu o período entre os 60 e 90 dias após a emergência (DAE) da cultura.

Entretanto, como demonstrado por Cousens (1988), o uso de testes de comparações múltiplas de média como método para determinação de períodos de interferência não apresenta-se adequado; o mais apropriado seria a análise por regressão. Pois, ao se adotar um teste de comparações múltiplas de médias, além de se ignorar a natureza quantitativa dos dados, julga-se a significância da perda gerada pela matointerferência com base em critérios estatísticos, os quais não possui relação com a significância biológica e econômica (COUSEN, 1988).

Ademais, experimentos à campo comumente apresentam coeficientes de variação elevados (STORCK et al., 2009); de modo que as diferenças mínimas significativas (DMS) obtidas em testes de média frequentemente apresentam valores relativamente altos, o que pode induzir o pesquisador a admitir perdas de produtividade relativamente altas como não significativas, como ressaltado por Knezevic et al. (2002). Assim, numa condição de aplicação

dos resultados da pesquisa à campo, poder-se-ia induzir a prejuízos econômicos, por se tolerar uma perda de produtividade elevada.

Tabela 1. Produtividade de mandioca submetida a períodos de convívio e de controle das plantas daninhas, extraídos do artigo de Johanns e Contiero (2006).

DAE	Produtividade (Mg ha ⁻¹)	
	Período de convívio	Período de controle
0	34,14	3,96 ¹
30	38,50	1,73 ¹
60	28,91	25,06 ¹
90	13,27 ¹	32,37
120	6,53 ¹	36,01
150	2,79 ¹	36,91
180	0,61 ¹	34,18
210	0,42 ¹	36,88
240	4,62 ¹	33,66
270	2,23 ¹	35,20
360	3,96 ¹	34,14

¹ Médias que se diferenciaram da testemunha no limpo (capinada durante todo o ciclo) pelo teste de Tukey a 5%.

Em observação ao exposto por Cousens (1988), Hall, Swanton e Anderson (1992) adotaram a análise de regressão para a determinação de períodos de interferência, e substituíram a DMS por um valor arbitrário e subjetivo de perda, denominado de perda tolerada, a qual foi de 2% da produtividade máxima prevista pelo modelo. Além disso, para facilitar a análise e representação gráfica, os autores utilizaram a produtividade relativa (em porcentagem) ao invés da produtividade absoluta. O uso da perda tolerada arbitrária apresentou-se vantajoso pois contornou a problemática relacionada à adoção do teste de comparações múltiplas de médias. Entretanto, sua natureza subjetiva tornou-o questionável.

Para demonstrar a metodologia adotada por Hall, Swanton e Anderson (1992), a qual será então denominada neste artigo de método da perda tolerada arbitrária, e compará-la à metodologia do teste de comparações múltiplas de médias, essa foi aplicada aos dados retirados do artigo de Johanns e Contiero (2006), descritos na Tabela 1, e os resultados comparados aos obtidos por estes autores. Os dados de período de convívio foram ajustados à uma equação sigmoide-logística de 4 parâmetros e os de período de controle à equação de Gompertz (Figura 1).

Quando se utilizou o método da perda tolerada arbitrária, o PAI se estendeu até os 25,17 DAE, período 34,83 dias inferior àquele identificado por Johanns e Contiero (2006); já o PTPI se encerrou aos 100,91 DAE, período 10,91 dias mais longo. Portanto, o PCPI foi 44,74

dias mais extenso devido ao menor valor apresentado pela perda tolerada em relação à DMS do teste de médias. Além disso o uso da regressão permitiu identificar o final do PAI e do PTPI em períodos intermediários não testados, o que seria impossível pelo teste de comparações múltiplas.

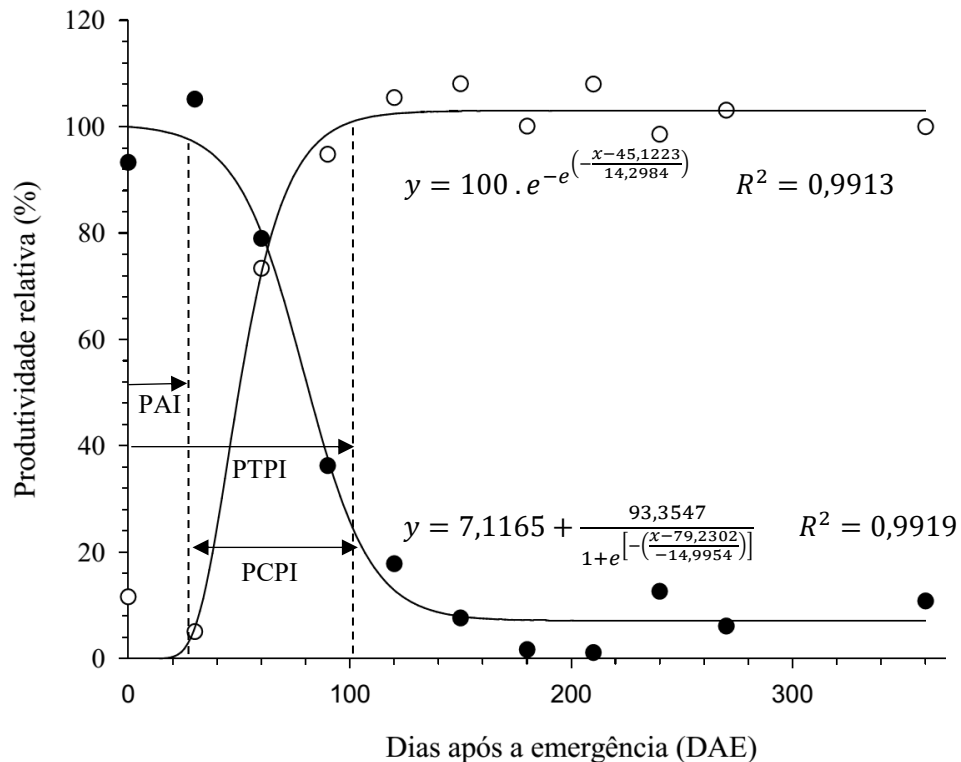


Figura 1. Determinação do PCPI para os dados de produtividade de mandioca em função de períodos de convívio e de controle obtidos do artigo de Johanns e Contiero (2006), por meio da metodologia utilizada por Hall, Swanton e Anderson (1992)

O método da perda tolerada arbitrária, a partir de então, passou a ser amplamente utilizada. Os trabalhos subsequentes que se basearam nessa metodologia apresentaram alterações em basicamente dois fatores, na perda tolerada, que variou de 1 a 10 % entre os trabalhos, e na escala de tempo, a qual pode ser encontrada em dias, estádios fenológicos ou graus dias, como pode-se observar nos trabalhos de Van Acker, Swanton e Weise (1993), Martin, Van Acker e Friesen (2001), Amador-Ramirez (2002), Evans et al. (2003), Williams (2006), Webster et al. (2007), Mahmoodi e Rahimi (2009), Webster et al. (2009), Stagnari e Pisante (2011), Frenda et al. (2013) e Korres e Norsworthy (2015).

Entretanto, apesar da metodologia desenvolvida por Hall, Swanton e Anderson (1992) haver sido replicada em muitos trabalhos, ela não foi apresentada pelos autores como um padrão a ser seguido. Em decorrência disso, houve quem a ignorasse totalmente e quem a adotasse parcialmente. Podem ser citados como exemplos os trabalhos de Johanns e Contiero (2006), no

qual foi utilizado o teste de comparações múltiplas; e o de Kozlowski et al. (2002), em que os autores utilizaram a regressão não-linear, como no método da perda tolerada arbitrária, porém, estabeleceram como critério para determinar os períodos o ponto em que a produtividade estimada fosse menor que a diferença entre produtividade média da testemunha e a DMS calculada pelo teste de comparações múltiplas de médias.

Além disso, o uso da perda tolerada arbitrária, apesar de apresentar vantagens em relação ao método estatístico (DMS), não permitiu uma correlação direta com parâmetros biológicos e/ou econômicos, como sugerido por Cousens (1988).

Concomitantemente, por ser de natureza subjetiva, a assertividade dos resultados obtidos por meio do método da perda tolerada arbitrária depende do conhecimento, experiência e habilidade analítica do pesquisador, além de estar sujeita a variações temporais e espaciais das condições tecnológicas e econômicas. O conjunto destes fatores tornam o uso da perda tolerada arbitrária questionável, e abriu espaço para a formulação de novas metodologias, como o período anterior ao dano no rendimento econômico (PADRE) de Vidal, Fleck e Merotto Jr. (2005) e do ponto ótimo de controle de plantas daninhas, de Keller et al. (2014), que abarcaram parâmetros econômicos.

O PADRE traz como conceito que o controle das plantas daninhas apresenta-se viável apenas quando o dano gerado pela matointerferência seja igual ou superior ao seu custo. Para determinar matematicamente o PADRE, Vidal, Fleck e Merotto Jr. (2005) a seguinte equação: $PADRE = \frac{PH+CA}{PP.RC}$, em que **PH** representa o preço do herbicida, em R\$ ha⁻¹; **CA** o custo de aplicação, em R\$ ha⁻¹; **PP** a taxa de perda diária, denominada pelos autores por “perda ‘percentual’ diária”, e **RC** o rendimento da cultura, também em R\$ ha⁻¹.

A **PP** foi determinada pelos autores como o produto da divisão da perda diária pela produtividade máxima potencial, representadas pelos coeficientes de inclinação da reta (*a*) e linear (*b*), presentes na equação do primeiro grau: $y = ax + b$; ou seja, $PP = \frac{a}{b}$. O **RC** foi estabelecido pelos autores como o produto da multiplicação da produtividade máxima potencial (*b*) pelo valor unitário do produto, ou apenas valor do produto (*VP*), geralmente em kg ha⁻¹.

Portanto, observa-se que a equação do PADRE foi elaborada sob a seguinte lógica: quantos dias a cultura levará para perder **PH+CA** em rendimento, que representa o custo de controle (**CC**), a uma taxa constante de perda igual a **PP . RC**.

Deste modo, fica claro que o PADRE não somente foi baseado numa lógica linear, como é dependente do uso da regressão linear; uma vez que necessita do coeficiente de inclinação da reta e o coeficiente linear. Além disso, a aplicação do PADRE ficou restrita a

períodos de convívio, uma vez que a equação não pode ser aplicada a períodos de controle sem adaptações.

Para que o PADRE pudesse ser aplicado a períodos de controle, sob uma lógica linear semelhante à adotada por Vidal, Fleck e Merotto Jr. (2005), deveria ser elaborada uma equação que determinasse com quantos dias a cultura em questão levaria para ganhar em rendimento o valor igual a $RC - CC - b$, sob uma taxa de ganho diário constante; em que b consiste no coeficiente linear, que neste caso representa o rendimento mínimo da cultura, ou seja, o rendimento esperado ao não se realizar o controle das plantas daninhas durante todo o ciclo da cultura.

Esse então denominável período total de prevenção ao dano no rendimento econômico da cultura (PTPADRE) poderia ser determinado por meio da adaptação da equação do juro simples: $J = c \cdot i \cdot n$; em que J é o juro, c é o capital inicial, i é a taxa de juro e n é o número de períodos (dias, meses ou anos). O juro (J) seria igual a $RC - CC - RM$, em que o RM representaria o rendimento mínimo da cultura; o capital inicial (c) seria a produtividade mínima (b); a taxa de juro (i) seria o ganho diário de produtividade (GP) e o número de períodos (n) seria o PTPADRE.

Como visto, o coeficiente b passaria a representar a produtividade mínima, não a máxima, a qual deveria ser estimada pela equação para o período de controle até o dia da colheita e passaria a ser denominada de y_{max} para não gerar confusão a com produtividade mínima (b). Deste modo O GP seria dado por: $GP = \frac{a}{y_{max}}$, em que a é o coeficiente de inclinação da reta e y_{max} ; o RC por: $RC = y_{max} \cdot VP$; e o RM por: $RM = b \cdot VP$

Assim, obter-se-ia a equação:

$$\begin{aligned}
 RC - CC - RM &= RM \cdot GP \cdot PTPADRE \Rightarrow \\
 \Rightarrow (y_{max} \cdot VP) - (b \cdot VP) - CC &= b \cdot VP \cdot GP \cdot PTPADRE \Rightarrow \\
 PTPADRE &= \frac{(y_{m\acute{a}x} \cdot VP) - (b \cdot VP) - CC}{b \cdot VP \cdot GP} = \frac{(y_{m\acute{a}x} - b) VP - CC}{b \cdot VP \cdot \frac{a}{b}} \quad (1) \\
 \therefore PTPADRE &= \frac{(y_{m\acute{a}x} - b) \cdot VP - CC}{a \cdot VP}
 \end{aligned}$$

Essa afirmação pode ser exemplificada pela ilustração de como ficaria a aplicação do PADRE a um conjunto de dados hipotéticos de períodos de controle (Figura 2). Ao se considerar um custo de controle ($PH+CA$) de 200 R\$ ha⁻¹ e um valor do produto de 2 R\$ kg⁻¹, o PADRE, utilizando-se a equação elaborada por Vidal, Fleck e Merotto Jr. (2005), resultaria:

$$PADRE = \frac{PH+CA}{PP \cdot RC} = \frac{200}{\frac{a}{b} \cdot b \cdot VP} = \frac{200}{\frac{10}{600} \cdot 600 \cdot 2} = \frac{200}{20} = 10 \text{ DAE.}$$

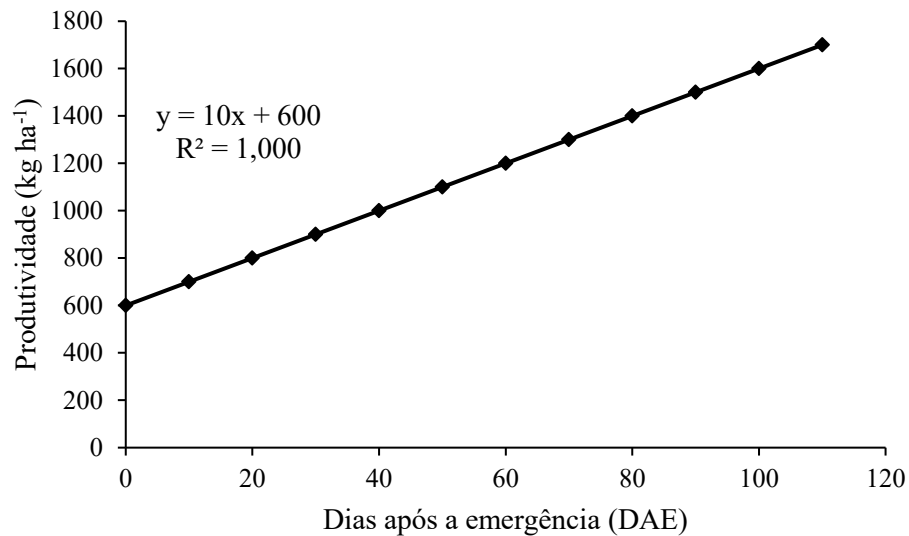


Figura 2. Dados hipotéticos de produtividade de uma cultura hipotética em relação a períodos de controle de plantas daninhas, em dias após a emergência, com comportamento linear.

Basta analisar a Figura 2 para perceber que o resultado obtido, 10 DAE, é absolutamente incoerente. Pois, ao se utilizar a equação da reta, determina-se que a produtividade esperada para 10 DAE de controle seria de 700 kg ha⁻¹, o que equivaleria a 1400 R\$ ha⁻¹; o rendimento máximo esperado nesse exemplo ocorreria com o controle até a colheita, aos 110 DAE, que seria de 3400 R\$ ha⁻¹. Deste modo, se considerado o resultado obtido pela equação, admitir-se-ia uma perda de rendimento igual a 2000 R\$ ha⁻¹, valor 10 vezes superior ao custo de controle.

Por outro lado, ao se adotar a equação do PTPADRE desenvolvida neste artigo, resultaria: $PTPADRE = \frac{(y_{m\acute{a}x} - b) \cdot VP - CC}{a \cdot VP} = \frac{(1700 - 600) \cdot 2 - 200}{10 \cdot 2} = \frac{2000}{20} = 100$ DAE. Ao se considerar que a produtividade esperada ao se controlar as daninhas até os 100 DAE seria de 1600 kg ha⁻¹, o que corresponderia a um rendimento de 3200 R\$ ha⁻¹, admitir-se-ia a perda de apenas 200 R\$ ha⁻¹, valor igual ao custo de controle.

Deste modo, verifica-se que o PADRE da forma que foi elaborado não permite ser aplicado a períodos de controle; entretanto, o conceito e a lógica presente no PADRE podem ser adotados por meio dos ajustes realizados.

Entretanto, os problemas de aplicação do PADRE não se resumem apenas aos expostos até então. A dependência do ajuste dos dados à regressão linear faz com que sua aplicação a dados de comportamento não linear possa resultar complexa ou imprecisa.

Conforme a metodologia apresentada por Vidal, Fleck e Merotto Jr. (2005) para se determinar o PADRE em dados de comportamento não linear, deveria ser realizada a segmentação dos dados em várias retas, de maneira semelhante ao realizado por Vidal et al. (2004) (Figura 3).

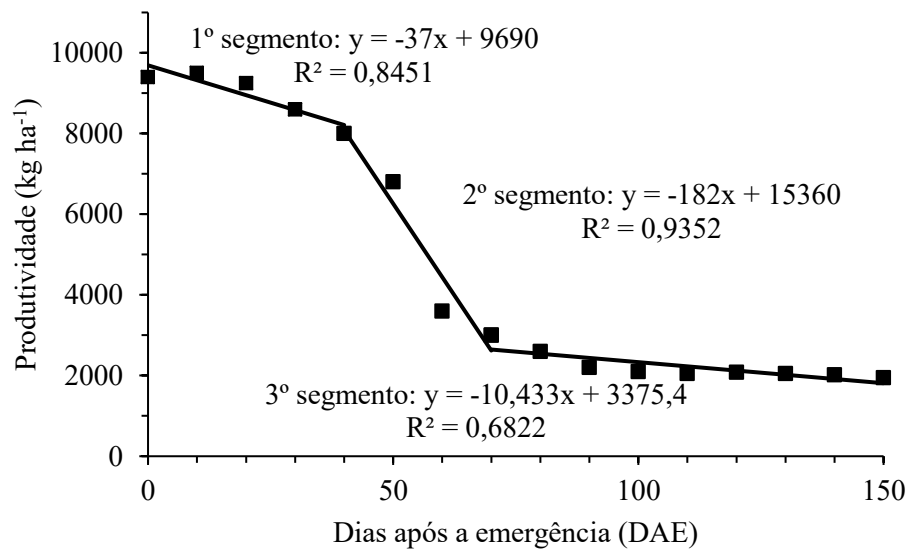


Figura 3. Segmentação de dados de períodos de convívio em equações lineares, como realizado por Vidal et al. (2004), em dados hipotéticos de uma cultura indeterminada.

Como pode-se observar na Figura 3, os dados de comportamento sigmoide-logístico foram segmentados em três retas, às quais foram submetidas à análise de regressão e obtidas suas equações correspondentes. Neste caso, o PADRE seria calculado com base nos coeficientes do primeiro segmento; caso o valor resultante fosse superior ao limite do primeiro (40 DAE), então se deveria calcular o excedente com base no segundo segmento e somar o resultado ao do primeiro, e assim sucessivamente.

Para exemplificação matemática, tomou-se como custo de controle e valor do produto 600 R\$ ha⁻¹ e 0,20 R\$ kg⁻¹, respectivamente. Portanto, obter-se-ia $PP = \frac{37}{9690} = 0,0038$ e $RC = 0,20 \cdot 9690 = 1938$. Assim $PADRE = \frac{600}{0,0038 \cdot 1938} = 81,47$ DAE, valor superior ao domínio desse segmento (40 DAE). Espera-se, nesse caso fictício, que aos 40 DAE a cultura perda de 296 R\$ ha⁻¹; deste modo, para que a perda pela matointerferência se iguale ao custo de controle, a cultura precisaria perder mais 304 R\$ ha⁻¹, o que deverá ser calculado no segundo segmento. Para o segundo segmento calcula-se $PP = \frac{182}{15360} = 0,022$ e $RC = 0,20 \cdot 15360 = 1642$; Assim, $PADRE = 40 + \frac{304}{0,022 \cdot 1642} = 48,41$ DAE.

Devido à grande complexidade experimentada ao se determinar o PADRE pela metodologia supracitada, Vidal, Fleck e Merotto Jr. (2005) realizaram apenas uma segmentação, a qual se iniciou na origem ($x = 0$) e se estendeu até o ponto em que as perdas pela matointerferência se estabilizaram (Figura 4). Assim, o cálculo do PADRE foi simplificado, de modo que $PADRE = \frac{600}{0,0091 \cdot 2134,80} = 30,88$ DAE.

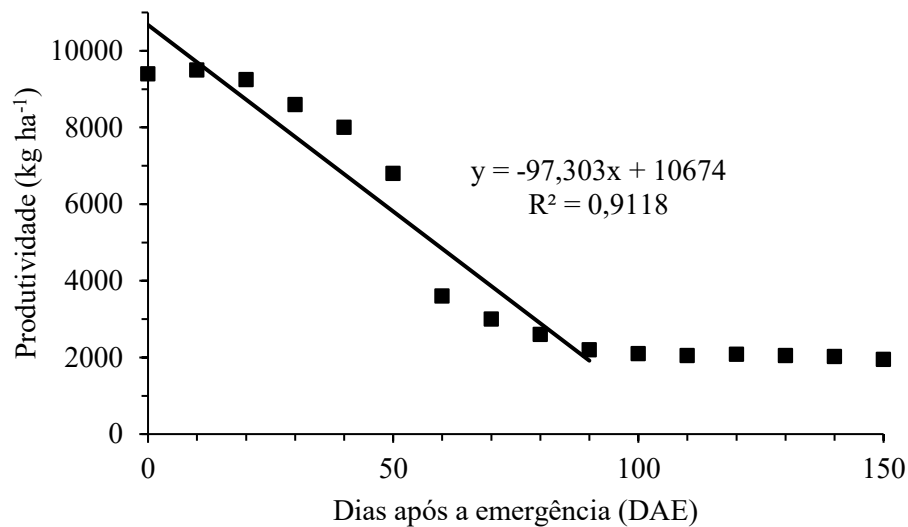


Figura 4. Dados hipotéticos de produtividade de uma cultura hipotética em relação a períodos de convívio, em dias após a emergência, de comportamento sigmoide-logístico e segmentados em apenas um polinômio linear (0 – 90 DAE), como realizado por Vidal, Fleck e Merotto Jr. (2005).

Como se pode observar, o valor de PADRE calculado para o mesmo conjunto de dados foi reduzido em 17,53 DAE, apenas por se alterar a segmentação dos dados. Isso ocorreu pois, ao se ajustar à regressão linear um segmento não-linear mais longo houve distorção na produtividade máxima esperada e a superestimação e subestimação das médias em diferentes trechos da reta. Essa distorção dos resultados, a qual pode ocorrer ao não se adotar uma segmentação correta do polinômio, de modo geral provoca o encurtamento do PADRE, como pode ser verificado nos trabalhos de Parreira et al. (2012) e Parreira et al. (2014).

Outra metodologia que se apresenta interessante, que também adota parâmetros econômicos na determinação de períodos de interferência, é a metodologia desenvolvida por Keller et al. (2014), denominada neste artigo por método do ponto ótimo de controle. Nesse método, utiliza-se a curva de resposta do rendimento da cultura aos períodos de controle das plantas daninhas, a curva de custo de produção e, por meio da diferença entre ambas, a curva de lucro da cultura para se determinar o PTPI.

A curva de rendimento é obtida ao se multiplicar a produtividade pelo valor final do produto. A curva de custo de produção constitui-se de uma equação linear, na qual o coeficiente linear (b) apresenta-se como o custo mínimo, formado pelo somatório de todos os custos, exceto o custo de controle das plantas daninhas; o coeficiente de inclinação da reta (a), por sua vez, representa o custo de controle das plantas daninhas pelo tempo que a cultura for mantida no limpo. Após obtidas as três curvas, o fim do PTPI é definido pelo ponto de máxima da curva de lucro, denominado pelos autores como ponto ótimo de controle das plantas daninhas.

Porém, apesar de o método do ponto ótimo de controle das plantas daninhas ter sido apresentado por Keller et al. (2014) como uma metodologia alternativa para a determinação do PCPI, os autores exploraram em seu artigo apenas a determinação do período análogo ao PTPI. Conseqüentemente, para que um eventual usuário do método identifique os análogos ao PAI e PCPI, haverá a necessidade de pequenas adaptações na lógica de seu uso.

Deste modo, o PAI poderia ser determinado por meio do método do ponto ótimo de controle ao se elaborar a equação de custo de controle pela lógica inversa. Neste caso, o coeficiente linear (*b*) corresponderia ao custo máximo de produção, ou seja, custo obtido ao se controlar as plantas daninhas até a colheita; e o coeficiente de inclinação da reta (*a*) continuaria sendo o custo diário para manter a cultura no limpo, mas com sinal negativo, uma vez que o custo deve reduzir com o avanço do período de convívio.

Para que o uso da metodologia possa ser melhor compreendido, esta foi aplicada aos dados de produtividade de mandioca em relação à períodos de interferência extraídos do trabalho de Johannis e Contiero (2006), descritos na Tabela 1. Para se determinar o rendimento da cultura foi adotado o valor do produto de 300 R\$ Mg⁻¹. O custo de produção, para os períodos de controle, foi determinado com base em um custo mínimo de 1500 R\$ ha⁻¹ e um adicional diário de 15 R\$ ha⁻¹ por dia de controle das plantas daninhas; para os períodos de controle, o custo máximo estabelecido foi de 6900 R\$ ha⁻¹ e a redução diária no custo por dia de convívio foi de -15 R\$ ha⁻¹; o lucro foi obtido pela diferença entre o rendimento e o custo (Tabela 2).

Tabela 2. Rendimento (kg ha⁻¹) calculados sobre dados de períodos de interferência sobre a cultura da mandioca extraídos de Johannis e Contiero (2006), apresentados na Tabela 1, com base num valor de produto igual a 300 R\$ Mg⁻¹; custo de produção hipotético da mandioca em relação aos períodos de convívio e de controle das plantas daninhas; e lucro estimado (rendimento – custo) em R\$ ha⁻¹

DAE	Período de controle			Período de convívio		
	Rendimento	Custo	Lucro	Rendimento	Custo	Lucro
0	1188,00	1500,00	-312,00	10242,00	6900,00	3342,00
30	519,00	1950,00	-1431,00	11550,00	6450,00	5100,00
60	7518,00	2400,00	5118,00	8673,00	6000,00	2673,00
90	9711,00	2850,00	6861,00	3981,00	5550,00	-1569,00
120	10803,00	3300,00	7503,00	1959,00	5100,00	-3141,00
150	11073,00	3750,00	7323,00	837,00	4650,00	-3813,00
180	10254,00	4200,00	6054,00	183,00	4200,00	-4017,00
210	11064,00	4650,00	6414,00	126,00	3750,00	-3624,00
240	10098,00	5100,00	4998,00	1386,00	3300,00	-1914,00
270	10560,00	5550,00	5010,00	669,00	2850,00	-2181,00
360	10242,00	6900,00	3342,00	1188,00	1500,00	-312,00

Para se determinar o ponto ótimo de controle das plantas daninhas para os períodos de controle, como realizado por Keller et al. (2014), submeteu-se os dados de período de controle da Tabela 2 à análise de regressão (Figura 5), obtendo-se as seguintes equações e respectivos coeficientes de determinação (R^2):

- Rendimento: $y = 10550,1165 \cdot e^{\left[-e^{\left(\frac{-x-45,1145}{14,2974}\right)}\right]}$, $R^2 = 0,9913$;
- Custo: $y = 15x + 1500$, $R^2 = 1,000$;
- Lucro: $y = 10550,1165 \cdot e^{\left[-e^{\left(\frac{-x-45,1145}{14,2974}\right)}\right]} - 15x - 1500$, $R^2 = 0,9917$.

Matematicamente, o ponto de máxima da equação de lucro poderia ser obtido calculando-se a primeira derivada da equação e igualando-a a 0 (zero). Entretanto, esse processo seria muito complexo e não se justificaria, tendo em vista que uma simples análise gráfica poderia prover o valor aproximado, o qual seria suficiente para seu propósito. Assim, pela análise gráfica, determinou-se que o ponto ótimo de controle das plantas daninhas, análogo ao PTPI, ocorreu por volta dos 100,50 DAE.

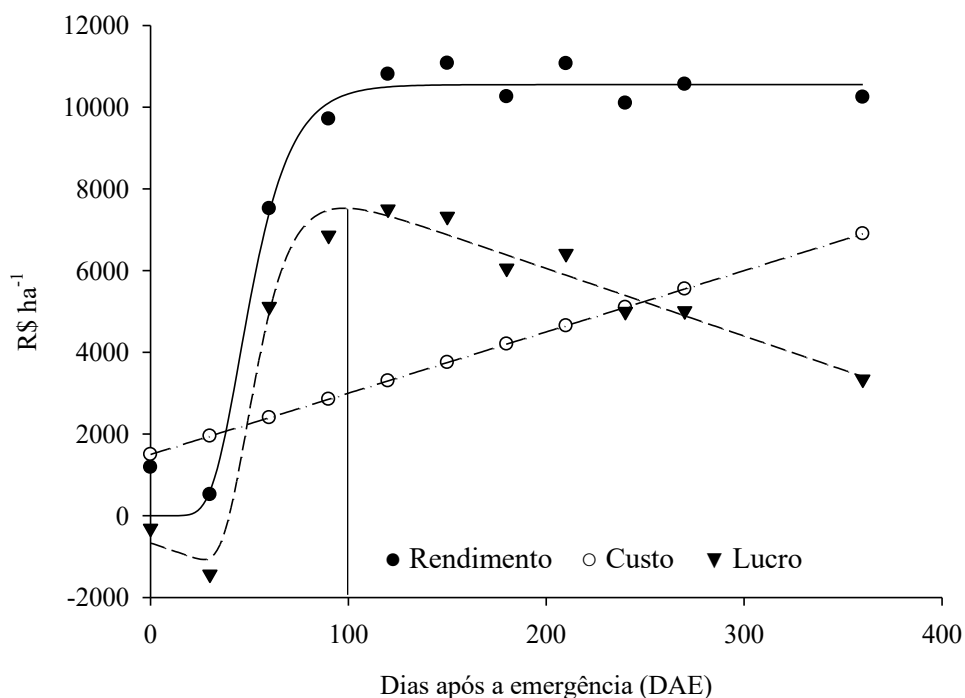


Figura 5. Exemplo da aplicação da metodologia de Keller et al. (2014) em dados de rendimento tendo base os dados de períodos de controle sobre a cultura da mandioca extraídos de Johanns e Contiero (2006), apresentados na Tabela 1, com base num valor de produto igual a 300 R\$ Mg⁻¹; custo de produção hipotético da mandioca em relação aos períodos de controle das plantas daninhas; e lucro estimado (rendimento – custo).

Para se determinar o ponto ótimo de controle das plantas daninhas para os períodos de convívio, submeteu-se os dados de período de controle da Tabela 2 à análise de regressão (Figura 6), obtendo-se as seguintes equações:

- Rendimento: $y = 781,2657 + \frac{10249,9296}{1+e^{\left(\frac{x-79,2286}{14,9948}\right)}}$, $R^2 = 0,9919$;
- Custo: $y = -15x + 6900$, $R^2 = 1,000$;
- Lucro: $y = 781,2657 + \frac{10249,9296}{1+e^{\left(\frac{x-79,2286}{14,9948}\right)}} + 15x - 6900$, $R^2 = 0,9861$.

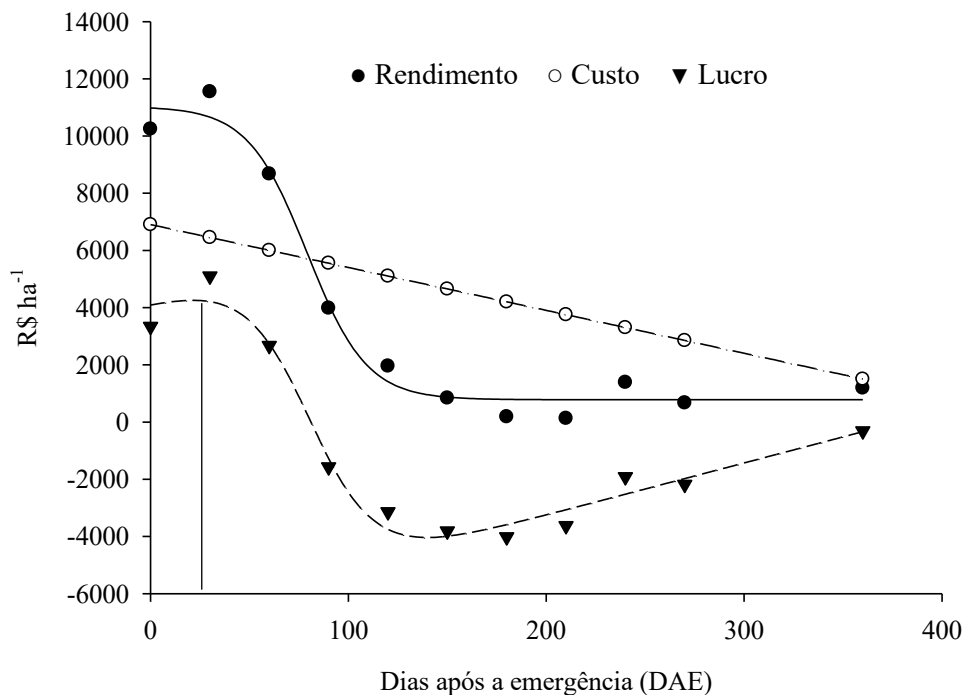


Figura 6. Exemplo da aplicação da metodologia de Keller et al. (2014) em dados de rendimento tendo base os dados de períodos de convívio sobre a cultura da mandioca extraídos de Johanns e Contiero (2006), apresentados na Tabela 1, com base num valor de produto igual a 300 R\$ Mg⁻¹; custo de produção hipotético da mandioca em relação aos períodos de convívio das plantas daninhas; e lucro estimado (rendimento – custo).

Tomando-se pela análise gráfica, devido aos mesmos motivos apresentados ao se determinar o análogo ao PTPI, o ponto ótimo de controle das plantas daninhas, análogo ao PAI, ocorreu por volta dos 22,50 DAE. Assim, o período análogo ao PCPI ocorreu, pelo método do ponto ótimo de controle das plantas daninhas, entre 22,50 e 100,50 DAE.

Deste modo, como pôde ser observado no exemplo, o método apresentado por Keller et al. (2014) demonstra-se eficiente tanto no objetivo de determinar os períodos de interferência, quanto o número máximo de intervenções que se pode realizar sem que haja desperdício de recursos; podendo, assim, ser considerado mais completo do o conceito do PAI, PTPI e PCPI tradicionalmente utilizado.

Entretanto, o método do ponto ótimo de controle das plantas daninhas apresenta-se relativamente complexo, devido à necessidade da dedução da equação de lucro para cada simulação que venha a ser realizada. Assim, caso o pesquisador desejasse simular o comportamento dos períodos de interferência de uma determinada cultura em diferentes perspectivas econômicas, como Vidal, Fleck e Merotto Jr. (2005) realizaram com o PADRE, essa metodologia demonstrar-se-ia trabalhosa e exaustiva.

3.3 DESENVOLVIMENTO DA NOVA METODOLOGIA

A nova metodologia foi baseada na regressão não-linear, como o método de Hall, Swanton e Anderson (1992); entretanto, sem ajustar a produtividade absoluta a produtividade relativa, uma vez que não foi adotada a perda percentual arbitrária. A perda tolerada, na nova metodologia, foi determinada com base no critério econômico do PADRE (concebidos por Vidal, Fleck e Merotto Jr. (2005): $PR = CC$, em que PR é a perda de rendimento tolerada e CC o custo de controle; ou seja, a perda de produtividade a ser tolerada deverá ser equivalente ao custo de controle.

Porém, apesar de na nova metodologia haver sido adotado o critério econômico do PADRE, os períodos mantiveram as nomenclaturas originais, ou seja, período anterior à interferência (PAI), período total de prevenção à interferência (PTPI) e período crítico de prevenção à interferência (PCPI). Não fora elaborada nova nomenclatura, pois, interpretou-se que o conceito dos períodos continuou o mesmo, o que mudou foi apenas a forma de se determinar a perda tolerada.

Para o desenvolvimento da nova metodologia, utilizou-se dos dados de produtividade de mandioca em função de períodos de convívio e de controle extraídos de trabalho de Johanns e Contiero (2006), apresentados na Tabela 1.

Os dados foram submetidos à regressão não-linear, por meio do programa estatístico SigmaPlot 11.0. Para períodos de convívio, utilizou-se uma equação sigmoide-logística de 4 parâmetros: $y = y_0 + \frac{a}{1 + e^{-\frac{x-x_0}{b}}}$; em que y_0 é a produtividade mínima, a a diferença entre a produtividade mínima e a assíntota da curva, e o número de Euler, x_0 o ponto de inflexão da curva e b o coeficiente de inclinação. Para os dados de períodos de controle, adotou-se a equação de Gompertz de 3 parâmetros: $y = a \cdot e^{-e^{-\frac{x-x_0}{b}}}$; em que a é a diferença entre a produtividade mínima e a assíntota da curva, e o número de Euler, x_0 o ponto de inflexão da curva e b o coeficiente de inclinação. (Figura 7).

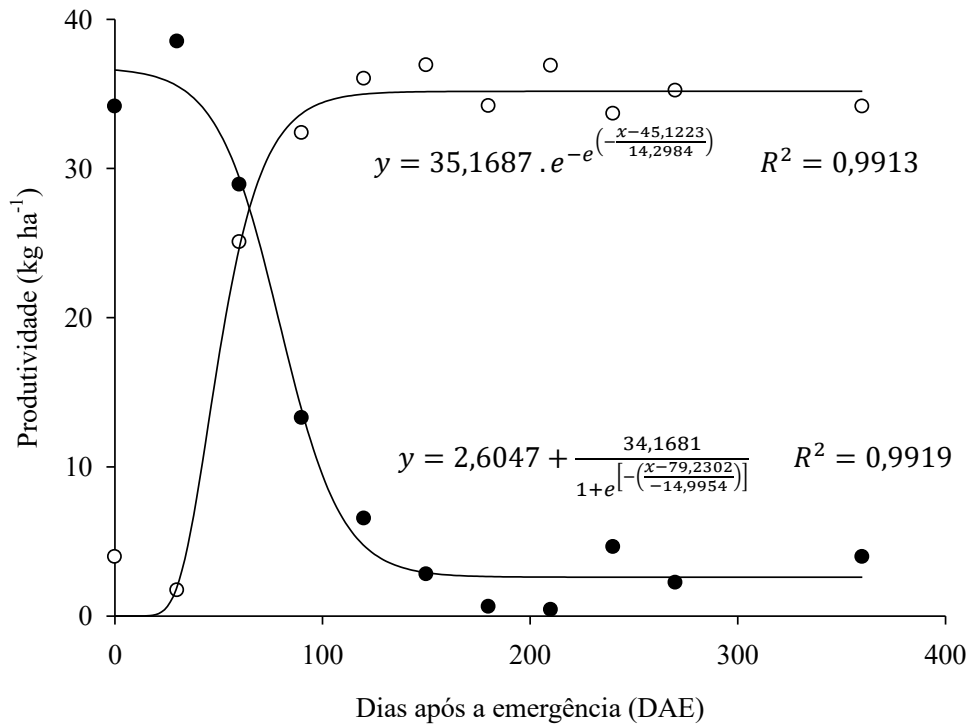


Figura 7. Dados de produtividade de mandioca em função de períodos de convívio e de controle, extraídos do trabalho de Johanns e Contiero (2006), ajustados a uma equação sigmoide-logística de 4 parâmetros e à equação de Gompertz de 3 parâmetros, respectivamente.

Realizada a regressão, necessitou-se determinar como calcular os períodos. Ao se partir do pressuposto que o final do período ocorre no tempo em que a produtividade esperada seja igual à diferença entre a produtividade máxima e a produtividade equivalente ao custo de controle. Deste modo, no momento em que a cultura apresenta tal produtividade, há a transição entre o estado de não-interferência para o de interferência e *vice-versa*, a depender de se tratar de períodos de convívio ou de controle; devido ao estado de transição, crítico, intrínseco deste ponto e deste valor de produtividade, ela foi denominada neste artigo de **produtividade crítica**, simbolizada por $y_{critica}$.

Assim sendo, a produtividade crítica pôde ser determinada pela seguinte equação: $y_{critica} = y_{max} - PT$, em que y_{max} é a produtividade máxima, em $kg\ ha^{-1}$, e PT a perda tolerada, em $kg\ ha^{-1}$.

Para se transformar o CC em PT , houve a necessidade de adotar a seguinte equação: $PT = \frac{CC}{VP}$, em que VP é o valor do produto, em reais por unidade do produto ($R\$ un^{-1}$). A PT é

então apresentada em unidades por hectare ($un\ ha^{-1}$) do produto, pois: $\frac{R\$ \cdot ha^{-1}}{R\$ \cdot un^{-1}} = \frac{R\$}{R\$} \cdot \frac{ha}{un} =$

$\frac{R\$}{ha} \cdot \frac{un}{R\$} = \frac{R\$ \cdot un}{R\$ \cdot ha} = \frac{un}{ha} = un\ ha^{-1}$. A unidade em questão pode ser qualquer unidade de peso ou medida, como @, kg, Mg, m³, etc.

Ao se conhecer a produtividade crítica do período, necessitou-se determinar o tempo que a cultura levou para alcançar tal produtividade, o que pôde ser determinado pela equação inversa da função obtida pela regressão. Portanto, para a determinação do PAI, inverteu-se a equação de Gompertz utilizada na regressão dos dados de períodos de convívio:

$$\begin{aligned}
 y &= y_0 + \frac{a}{1 + e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}} \Rightarrow y - y_0 = \frac{a}{1 + e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}} \Rightarrow \frac{1}{y - y_0} = \frac{1 + e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}}{a} \Rightarrow \\
 \frac{a}{y - y_0} &= 1 + e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)} \Rightarrow \frac{a}{y - y_0} - 1 = e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)} \Rightarrow \ln\left(\frac{a}{y - y_0} - 1\right) = \ln e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)} \Rightarrow \\
 \ln\left(\frac{a}{y - y_0} - 1\right) &= -\left(\frac{x - x_0}{b}\right) \Rightarrow -\ln\left(\frac{a}{y - y_0} - 1\right) = \frac{x - x_0}{b} \Rightarrow \\
 -b \cdot \ln\left(\frac{a}{y - y_0} - 1\right) &= x - x_0 \Rightarrow x_0 - b \cdot \ln\left(\frac{a}{y - y_0} - 1\right) = x \\
 \therefore x &= x_0 - b \cdot \ln\left(\frac{a}{y - y_0} - 1\right)
 \end{aligned}$$

Ao se substituir o y da equação pela equação da $y_{critica}$, obteve-se:

$$PAI = x_0 - b \cdot \ln\left[\frac{a}{y_{max-PT} - y_0} - 1\right] = x_0 - b \cdot \ln\left[\frac{a}{y_{max-\frac{CC}{VP}} - y_0} - 1\right]$$

Para o período total de prevenção à interferência (PTPI), por sua vez, foi invertida a equação sigmoide-logística, de 4 parâmetros, utilizada no ajuste:

$$\begin{aligned}
 y &= a \cdot e^{-e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}} \Rightarrow \frac{y}{a} = e^{-e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}} \Rightarrow \ln\left(\frac{y}{a}\right) = \ln\left[e^{-e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}}\right] \Rightarrow \ln\left(\frac{y}{a}\right) = -e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)} \Rightarrow \\
 -\ln\left(\frac{y}{a}\right) &= e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)} \Rightarrow \ln\left[-\ln\left(\frac{y}{a}\right)\right] = \ln\left[e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}\right] \Rightarrow \ln\left[-\ln\left(\frac{y}{a}\right)\right] = -\frac{x - x_0}{b} \Rightarrow \\
 -\ln\left[-\ln\left(\frac{y}{a}\right)\right] &= \frac{x - x_0}{b} \Rightarrow -b \cdot \ln\left[-\ln\left(\frac{y}{a}\right)\right] = x - x_0 \Rightarrow x_0 - b \cdot \ln\left[-\ln\left(\frac{y}{a}\right)\right] = x \\
 \therefore x &= x_0 - b \cdot \ln\left[-\ln\left(\frac{y}{a}\right)\right]
 \end{aligned}$$

Ao se substituir o y da equação pela equação da $y_{critica}$:

$$\begin{aligned}
 PTPI &= x_0 - b \cdot \ln\left[-\ln\left(\frac{y_{max} - \frac{CC}{VP}}{a}\right)\right] \Rightarrow PTPI = x_0 - b \cdot \ln\left[-\ln\left(\frac{y_{max}}{a} - \frac{\frac{CC}{VP}}{a}\right)\right] \Rightarrow \\
 PTPI &= x_0 - b \cdot \ln\left[-\ln\left(\frac{y_{max}}{a} - \frac{CC}{VP} \cdot \frac{1}{a}\right)\right] \Rightarrow PTPI = x_0 - b \cdot \ln\left[-\ln\left(\frac{y_{max}}{a} - \frac{CC}{VP \cdot a}\right)\right] \\
 \therefore PTPI &= x_0 - b \cdot \ln\left[-\ln\left(\frac{y_{max}}{a} - \frac{CC}{VP \cdot a}\right)\right]
 \end{aligned}$$

Para determinar os períodos no presente exemplo, adotou-se os valores de 300 R\$ ha⁻¹, como custo de controle, e 250 R\$ Mg⁻¹, como valor do produto. A produtividade máxima adotada no cálculo do PAI foi a produtividade estimada aos 0 DAE; no PTPI foi o valor da assíntota da equação (coeficiente *a*), uma vez que a equação se aproximou de sua assíntota dentro do domínio observado, ou seja, até a colheita.

Assim, calculou-se o PAI:

$$PAI = 79,2302 - (-14,9951) \cdot \ln \left[\frac{34,1681}{36,6003 - \frac{300}{250} - 2,6047} - 1 \right] = 31,64 \text{ DAE}$$

O PTPI, por sua vez, como a produtividade máxima estimada no experimento foi igual ao coeficiente *a*, calculou-se:

$$PTPI = x_0 - b \cdot \ln \left[-\ln \left(\frac{y_{max}}{a} - \frac{CC}{VP \cdot a} \right) \right] \Rightarrow x_0 - b \cdot \ln \left[-\ln \left(\frac{a}{a} - \frac{CC}{VP \cdot a} \right) \right] \Rightarrow$$

$$PTPI = x_0 - b \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{CC}{VP \cdot a} \right) \right] \Rightarrow$$

$$PTPI = 45,1223 - 14,2984 \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{300}{250 \cdot 35,1687} \right) \right] = 93,17 \text{ DAE}$$

Portanto, neste exemplo o PCPI ocorreu entre os 31,64 DAE e os 93,17 DAE, com o custo de controle e valor do produto adotados.

Quando adotada a metodologia de Hall, Swanton e Anderson (1992), com uma perda tolerada arbitrária de 2% para o mesmo exemplo, o PCPI foi determinado entre 25,17 DAE e 100,91 DAE; período mais longo do que encontrado na metodologia desenvolvida neste artigo. Isso ocorreu, devido a diferença existente na determinação da *PT* entre os métodos. No método da perda tolerada arbitrária adotou-se uma *PT* de 2%, a qual equivaleu a 0,73 Mg ha⁻¹, para períodos de convívio, e 0,70 Mg ha⁻¹, para períodos de controle, respectivamente; enquanto que na nova metodologia, a perda tolerada adotada foi de 1,20 Mg ha⁻¹ para ambos os períodos.

Caso os resultados obtidos no exemplo fossem aplicadas comparativamente à campo, em área comercial, implicaria que ao se adotar o método da perda tolerada arbitrária seriam investidos 300 R\$ ha⁻¹, em controle de plantas daninhas, para evitar a perda de aproximadamente 179 R\$ ha⁻¹ devido a matointerferência, ou seja, prejuízo de 121 R\$ ha⁻¹. Por outro lado, com a nova metodologia, o investimento em controle de plantas daninhas seria de 300 R\$ ha⁻¹ para evitar a perda de 300 R\$ ha⁻¹ pela matointerferência, ou seja, haveria o total retorno do investimento.

Ao se determinar os períodos de interferência do mesmo conjunto de dados (Tabela 1) por meio do PADRE e a adaptação do PTPADRE, descrita neste artigo, com o mesmo custo de controle e valor do produto adotados na simulação com a nova metodologia, houve primeiramente a necessidade do ajuste dos dados à regressão linear (Figura 8).

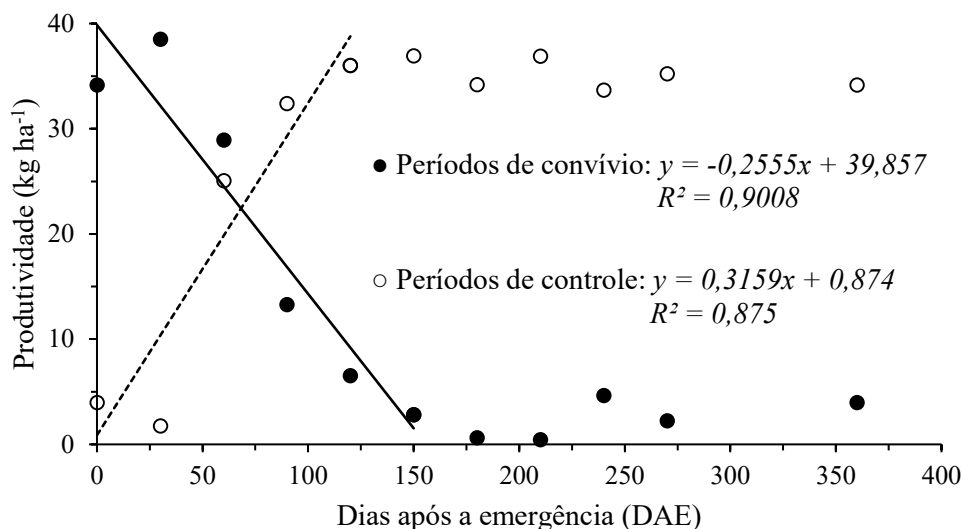


Figura 8. Dados de produtividade de mandioca em função de períodos de convívio e de controle, extraídos do trabalho de Johanns e Contiero (2006), ajustados à regressão linear do período 0 a 150 DAE, em períodos de convívio, e de 0 a 120 DAE, em períodos de controle, para a aplicação do método do PADRE.

Como pôde ser observado na Figura 8, para que fosse aplicada a regressão linear, como proposto por Vidal et al. (2005), segmentou-se a curva de períodos de convívio do 0 aos 150 DAE e a curva de período de controle do 0 aos 120 DAE, os quais foram submetidos à regressão.

Por meio das equações obtidas pela regressão, obteve-se para os períodos de convívio (PADRE): $PP = \frac{a}{b} = \frac{0,2555}{39,857} = 0,0064$; $RC = b \cdot VP = 39,857 \cdot 250 = 9964,25 \text{ R\$ ha}^{-1}$. Para os períodos de controle (PTPADRE) obteve-se: $y_{max} = 0,3159 \cdot 120 + 0,874 = 38,782 \text{ kg ha}^{-1}$; $PP = \frac{a}{y_{max}} = \frac{0,3159}{38,782} = 0,0081$; $RC = y_{max} \cdot VP = 38,782 \cdot 250 = 9695,50 \text{ R\$ ha}^{-1}$.

Assim, determinou-se o PADRE:

$$PADRE = \frac{PH + CA}{PP \cdot RC} = \frac{CC}{PP \cdot RC} = \frac{300}{0,0064 \cdot 9964,25} = \frac{300}{63,77} = 4,70 \text{ DAE}$$

Para o PTPADRE calculou-se:

$$PTPADRE = \frac{(y_{max} - b) \cdot VP - CC}{a \cdot VP} = \frac{(38,782 - 0,874) \cdot 250 - 300}{0,3159 \cdot 250} = 116,19 \text{ DAE}$$

O PADRE encontrado para a simulação realizada foi de 4,70 DAE, período 26,94 dias mais curto que o PAI obtido pela metodologia desenvolvida neste artigo. O PTPI calculado foi de 116,19 DAE, valor 23,02 dias mais longo. Logo, o análogo ao PCPI, assim denominável período crítico de prevenção ao dano no rendimento econômico da cultura (PCPADRE), ocorreu entre 4,70 e 116,19 DAE, representando um período total de 111,49 dias, 49,96 dias maior que o PCPI encontrado por meio da nova metodologia, de 61,53 dias.

Caso os resultados de PADRE e PTPADRE obtidos fossem utilizados em uma lavoura comercial, no caso do PADRE realizar-se-ia um investimento de 300 R\$ ha⁻¹ para salvar apenas 18,92 R\$ ha⁻¹, o que representaria um prejuízo de 281,08 R\$ ha⁻¹; no caso do PTPADRE, para um investimento igual, seriam salvos apenas 72,91 R\$ ha⁻¹, prejuízo de 227,09 R\$ ha⁻¹.

Os resultados obtidos pela simulação do PADRE, PTPADRE e PCPADRE, comprovam a tendência da metodologia proposta por Vidal, Fleck e Merotto Jr. (2005) em encurtar o período de convívio, além de demonstrar que tende a alongar o período de controle e, assim, o período crítico, o que ocorre devido ao ajuste de dados de comportamento não-linear à regressão linear.

Ao se simular os períodos de interferência para os dados da Tabela 1 pela metodologia desenvolvida por Keller et al. (2014), o que foi realizado no tópico 3.2 “considerações sobre os principais métodos utilizados na determinação de períodos de interferência”, obteve-se para o análogo ao PAI e ao PTPI os respectivos valores de 22,50 e 100,50 DAE. Portanto, o análogo ao PCPI ocorreu entre os 22,50 e 100,50 DAE, correspondendo a um período de 78 DAE.

Esses resultados demonstram que os valores obtidos pela metodologia de Keller et al. (2014), o método do ponto ótimo de controle, e os calculados pela nova metodologia foram próximos, o que indica que os métodos se correspondem no que tange a precisão. Entretanto, como destacado no tópico 3.2, o método do ponto ótimo de controle pode se apresentar desvantajoso caso se busque realizar simulações de diferentes cenários econômicos simultâneos.

Portanto, pode-se observar que a metodologia desenvolvida neste estudo logrou o objetivo de permitir a determinação de períodos de convívio e de controle (PAI, PTPI e PCPI) com base na análise de regressão dos dados e em critérios econômicos (*CC* e *VP*), de maneira precisa, atendendo às observações e sugestões realizadas por Cousens (1988).

Entretanto, apesar de no exemplo apresentado ter sido utilizado fatores econômicos na determinação da *y_{critica}*, ela poderia ser calculada com bases em outros critérios que o usuário queira. Além disso, por se basear na análise de regressão dos dados, a nova metodologia pode ser aplicada independentemente da escala ou unidade apresentada pelos eixos, ou seja, o eixo x

pode ser em dias, semanas, estádios fenológicos, graus dias, etc., e o eixo y em produção, produtividade, produtividade relativa (%), massa seca, massa fresca, área foliar, etc.

Deste modo, a metodologia desenvolvida neste estudo tem o potencial de padronizar os métodos de determinação de períodos de controle e de convívio (PAI, PTPI e PCPI). Portanto, diante dos fatos apresentados, sugere-se que a nova metodologia seja denominada de método integral de determinação de períodos de interferência, ou apenas **método integral**.

Porém, a presente metodologia pode se demonstrar matematicamente complicada, principalmente ao se adotar modelos matemáticos mais complexos na regressão. Entretanto, esse problema pode ser resolvido ao se criar um banco de equações previamente invertidas, contendo as principais equações utilizadas e outras com potencial de uso.

3.4 ELABORAÇÃO E TESTE DO BANCO DE EQUAÇÕES

O método integral demonstrou-se eficiente, porém complexo, devido à necessidade de inversão da equação adotada na regressão. Como solução para esse problema, foi elaborado um banco de equações com as principais equações utilizada na literatura e outras que podem vir a ser usadas na determinação de períodos de interferência, com suas respectivas equações inversas. Deste modo, basta ao usuário selecionar a equação à qual seus dados se ajustam melhor e, então, aplicar os valores dos coeficientes obtidos na análise de regressão à respectiva equação inversa.

As principais equações encontradas na literatura foram logísticas e sigmóides (AGOSTINETTO et al., 2008; BRESSANIN et al., 2013; CARVALHO; VELINI, 2001; COSTA; ALVES; PAVANI, 2004; COSTA et al., 2013; KARKANIS et al., 2012; PARREIRA et al., 2014; SALGADO et al., 2007; WILLIAMS, 2006) e exponenciais (CARVALHO; VELINI, 2001; VIDAL et al., 2004).

Entretanto, verificou-se a existência de uma série de equações com potencial de uso, como equações logísticas, sigmóides e exponenciais não presentes na literatura e equações logarítmicas, polinomial linear, polinomial quadrática e equações de distribuição simétrica (Tabelas 3 e 4). Após listadas as equações, essas foram invertidas de modo a proporcionarem o valor de x (variável independente) em função de y (variável dependente) (Tabelas 5 e 6).

Por motivo organizacional, as equações foram segmentadas em grupos: grupo das equações exponenciais, logarítmicas e polinomial quadrática (Grupo I), grupo das equações simétricas (Grupo II), equação polinomial linear (Grupo III) e grupo das equações sigmoide-logísticas (Grupo IV).

Tabela 3. Lista de equações que se adequação ao estudo de períodos de interferência, como descritas nos programas estatísticos Sigma Plot 11.0 ⁽¹⁾ e Origin 8 ⁽²⁾, separadas conforme seus respectivos grupos: equações exponenciais, logarítmicas e polinomial quadrática (Grupo I), equações de distribuição simétrica (Grupo II) e polinomial linear (III)

Nome da equação	Grupo	Equação $f(x)$
Quadrática ¹	I	$y = a.x^2 + b.x + c$
Exponencial simples, 2 parâmetros ¹	I	$y = a.(1 - e^{-bx})$
Exponencial simples, 3 parâmetros ¹	I	$y = y_0 + a.(1 - e^{-bx})$
Logarítmica, 2 parâmetros I ¹	I	$y = y_0 + a.\ln(x)$
Logarítmica, 2 parâmetros II ¹	I	$y = a.\ln(x - x_0)$
Logarítmica, 3 parâmetros ¹	I	$y = y_0 + a.\ln(x - x_0)$
Logarítmica de 2ª ordem ¹	I	$y = y_0 + a.\ln(x) + b.[\ln(x)]^2$
Função de Gauss, 3 parâmetros ¹	II	$y = a.e^{\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-x_0}{b}\right)^2\right]}$
Função de Gauss, 4 parâmetros ¹	II	$y = y_0 + a.e^{\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-x_0}{b}\right)^2\right]}$
Função de Gauss modificada, 5 parâmetros ¹	II	$y = y_0 + a.e^{\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-x_0}{b}\right)^c\right]}$
Equação Lorentziana, 3 parâmetros ¹	II	$y = \frac{a}{1 + \left(\frac{x - x_0}{b}\right)^2}$
Equação Lorentziana, 4 parâmetros ¹	II	$y = y_0 + \frac{a}{1 + \left(\frac{x - x_0}{b}\right)^2}$
Linear ¹	III	$y = a.x + b$

Tabela 4. Lista de equações do Grupo II, grupo das equações sigmoide-logísticas, que se adequação ao estudo de períodos de interferência, como descritas nos programas estatísticos Sigma Plot 11.0 ⁽¹⁾ e Origin 8 ⁽²⁾

Nome da equação	Grupo	Equação $f(x)$
Equação de Boltzmann ²	IV	$y = \frac{P_1 - P_2}{1 + e^{\left(\frac{x-x_0}{d}\right)}} + P_2$
Equação de Chapman, 4 parâmetros ¹	IV	$y = y_0 + a \cdot (1 - e^{-b \cdot x})^c$
Equação de Gompertz, 3 parâmetros ¹	IV	$y = a \cdot e^{-e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}}$
Equação de Gompertz, 4 parâmetros ¹	IV	$y = y_0 + a \cdot e^{-e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}}$
Equação de Richards ²	IV	$y = a \cdot [1 + (d - 1) \cdot e^{-k \cdot (x-x_c)}]^{(1-d)}$
Equação de Weibull ²	IV	$y = a \cdot \{1 - e^{-[k \cdot (x-x_c)]^d}\}$
Logística, 3 parâmetros ¹	IV	$y = \frac{a}{1 + \left(\frac{x}{x_0}\right)^b}$
Logística, 4 parâmetros I ¹	IV	$y = y_0 + \frac{a}{1 + \left(\frac{x}{x_0}\right)^b}$
Logística, 4 parâmetros II ¹	IV	$y = \min + \frac{\max - \min}{1 + \left(\frac{x}{EC50}\right)^H}$
Sigmoide, 3 parâmetros ¹	IV	$y = \frac{a}{1 + e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}}$
Sigmoide, 4 parâmetros I ¹	IV	$y = y_0 + \frac{a}{1 + e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}}$
Sigmoide, 5 parâmetros ¹	IV	$y = y_0 + \frac{a}{\left[1 + e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}\right]^c}$
Sigmoide de dose-resposta ²	IV	$y = A_1 + \frac{A_2 - A_1}{1 + 10^{\lceil \log(x_0 - x) \cdot p \rceil}}$

Tabela 5. Lista das equações invertidas para facilitar a aplicação do método integral, separadas conforme seus respectivos grupos: equações exponenciais, logarítmicas e polinomial quadrática (Grupo I), equações de distribuição simétrica (Grupo II) e polinomial linear (Grupo III)

Nome da equação	Grupo	Equação inversa $f(y)$
Quadrática	I	$x = -b \pm \frac{\sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot (c - y)}}{2 \cdot a}$
Exponencial simples, 2 parâmetros	I	$x = -\frac{\ln\left(1 - \frac{y}{a}\right)}{b}$
Exponencial simples, 3 parâmetros	I	$x = -\frac{\ln\left(1 - \frac{y - y_0}{a}\right)}{b}$
Logarítmica, 2 parâmetros I	I	$x = e^{\left(\frac{y - y_0}{a}\right)}$
Logarítmica, 2 parâmetros II	I	$x = x_0 + e^{\left(\frac{y}{a}\right)}$
Logarítmica, 3 parâmetros	I	$x = x_0 + e^{\left(\frac{y - y_0}{a}\right)}$
Logarítmica de 2ª ordem	I	$x = e^{\left[\frac{-a \pm \sqrt{a^2 - 4 \cdot b \cdot (y_0 - y)}}{2 \cdot b}\right]}$
Função de Gauss, 3 parâmetros	III	$x = x_0 \pm \sqrt{-2 \cdot b^2 \ln\left(\frac{y}{a}\right)}$
Função de Gauss, 4 parâmetros	III	$x = x_0 \pm \sqrt{-2 \cdot b^2 \ln\left(\frac{y - y_0}{a}\right)}$
Função de Gauss modificada, 5 parâmetros	III	$x = x_0 \pm \sqrt[2]{-2 \cdot b^2 \ln\left(\frac{y - y_0}{a}\right)}$
Equação Lorentziana, 3 parâmetros	III	$x = x_0 \pm b \cdot \sqrt{\frac{a}{y} - 1}$
Equação Lorentziana, 4 parâmetros	III	$x = x_0 \pm b \cdot \sqrt{\frac{a}{y - y_0} - 1}$
Linear	IV	$x = \frac{y - b}{a}$

Tabela 6. Lista das equações do grupo do Grupo II, grupo das equações sigmoide-logísticas, invertidas para facilitar a aplicação do método integral

Nome da equação	Grupo	Equação inversa $f(y)$
Equação de Boltzmann	II	$x = x_0 + d_x \cdot \ln \left(\frac{P_1 - P_2}{y - P_2} - 1 \right)$
Equação de Chapman, 4 parâmetros	II	$x = - \frac{\ln \left[1 - \left(\frac{y - y_0}{a} \right)^{\frac{1}{c}} \right]}{b}$
Equação de Gompertz, 3 parâmetros	II	$x = x_0 - b \cdot \ln \left[- \ln \left(\frac{y}{a} \right) \right]$
Equação de Gompertz, 4 parâmetros	II	$x = x_0 - b \cdot \ln \left[- \ln \left(\frac{y - y_0}{a} \right) \right]$
Equação de Richards	II	$x = x_c - \frac{\ln \left\{ \left[\left(\frac{y}{a} \right)^{1-d} - 1 \right] \cdot \left(\frac{1}{d-1} \right) \right\}}{k}$
Equação de Weibull	II	$x = x_c + \frac{\left[- \ln \left(1 - \frac{y}{a} \right) \right]^{\frac{1}{d}}}{k}$
Logística, 3 parâmetros	II	$x = x_0 \cdot \left(\frac{a}{y} - 1 \right)^{\frac{1}{b}}$
Logística, 4 parâmetros I	II	$x = x_0 \cdot \left(\frac{a}{y - y_0} - 1 \right)^{\frac{1}{b}}$
Logística, 4 parâmetros II	II	$x = EC50 \cdot \left(\frac{max - min}{y - min} - 1 \right)^{-\frac{1}{H}}$
Sigmoide, 3 parâmetros	II	$x = x_0 - b \cdot \ln \left(\frac{a}{y} - 1 \right)$
Sigmoide, 4 parâmetros I	II	$x = x_0 - b \cdot \ln \left(\frac{a}{y - y_0} - 1 \right)$
Sigmoide, 5 parâmetros	II	$x = x_0 - b \cdot \ln \left[\left(\frac{a}{y - y_0} \right)^{\frac{1}{c}} - 1 \right]$
Sigmoide de dose-resposta	II	$x = \log(x_0) - \frac{\log \left(\frac{A_2 - A_1}{y - A_1} - 1 \right)}{P}$

As equações do banco de equações foram testadas por meio de sua aplicação a dados hipotéticos de períodos de convívio e de controle. As produtividades máxima e crítica estabelecidas foram de 2.200 kg ha⁻¹ e 2.090 kg ha⁻¹, respectivamente tanto para períodos de convívio quanto para os de controle. As produtividades máximas e críticas foram estabelecidas de modo a ocorrerem aos 0 e 14 dias após a emergência (DAE) da cultura, nos dados de períodos de convívio, e aos 70 e 56 DAE, nos dados de períodos de controle. Os valores de custo de controle e valor de produto adotados foram de 2 R\$ ha⁻¹ e 220 R\$ ha⁻¹, respectivamente.

Deste modo, a extensão aguardada para o PAI e PTPI foi de 14 e 56 DAE, respectivamente, de modo a se esperar a ocorrência do PCPI entre 14 e 56 DAE. Entretanto, espera-se que diferentes equações apresentem diferentes ajustes, com produtividades máximas distintas e comportamentos variáveis. Assim, por mais que os dados foram criados de maneira a fornecerem um resultado predeterminado, aqueles obtidos com o uso das equações deverão ser diferentes e, ao mesmo tempo, aproximados aos valores predefinidos.

Além disso, a existência de equações de naturezas diversas impossibilita ou torna muito difícil que todas se ajustem a um único conjunto de dados. Diante disso, foram criados dados para cada um dos grupos (Tabela 7 e Figuras 7, 8, 9 e 10).

Tabela 7. Dados hipotéticos de produtividade de uma cultura indeterminada submetida a períodos crescentes de convívio e de controle, utilizados para o teste das equações exponenciais, logarítmicas e quadrática (Grupo I), sigmóides e logísticas (Grupo II), equações de distribuição simétrica (Grupo III) e polinomial linear (Grupo IV)

DAE	Grupo I	Grupo II		Grupo III		Grupo IV	
	Controle	Convívio	Controle	Convívio	Controle	Convívio	Controle
0	–	1.900	850	2.200	100	2.200	1.650
7	1.000	2.200	880	2.170	150	2.145	1.705
14	1.500	2.090	950	2.090	200	2.090	1.760
21	1.700	1.870	1.050	2.040	400	2.035	1.815
28	1.830	1.650	1.200	1.900	800	1.980	1.870
35	1.950	1.400	1.400	1.600	1.600	1.925	1.925
42	2.000	1.200	1.650	800	1.900	1.870	1.980
49	2.050	1.050	1.870	400	2.040	1.815	2.035
56	2.090	950	2.090	200	2.090	1.760	2.090
63	2.170	880	2.200	150	2.170	1.705	2.145
70	2.200	850	1.900	100	2.200	1.650	2.200

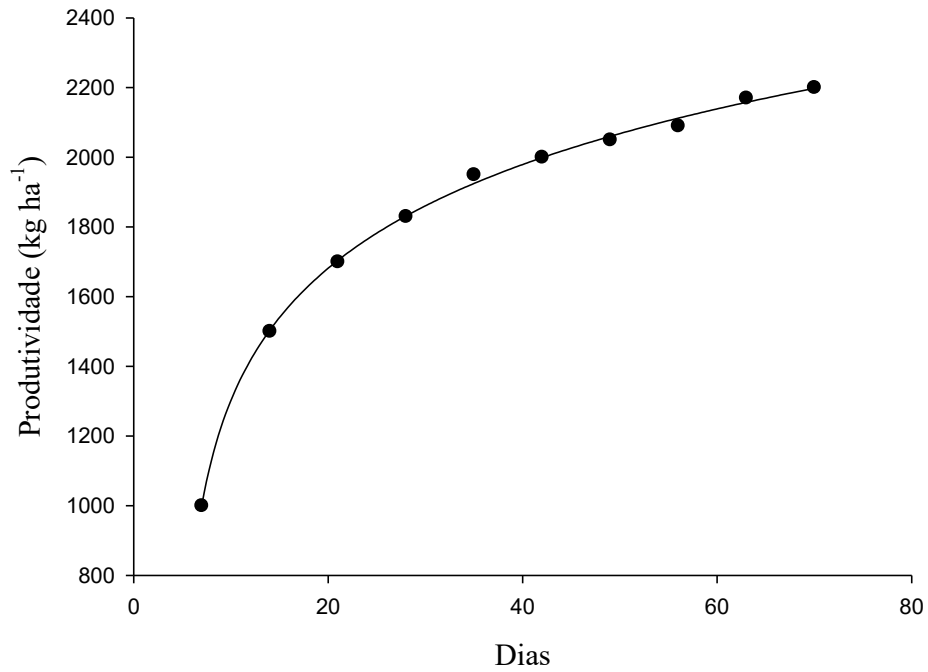


Figura 9. Dados fictícios de produtividade de uma cultura indeterminada em relação a períodos crescentes de controle utilizados para o ajuste e teste das equações do Grupo I

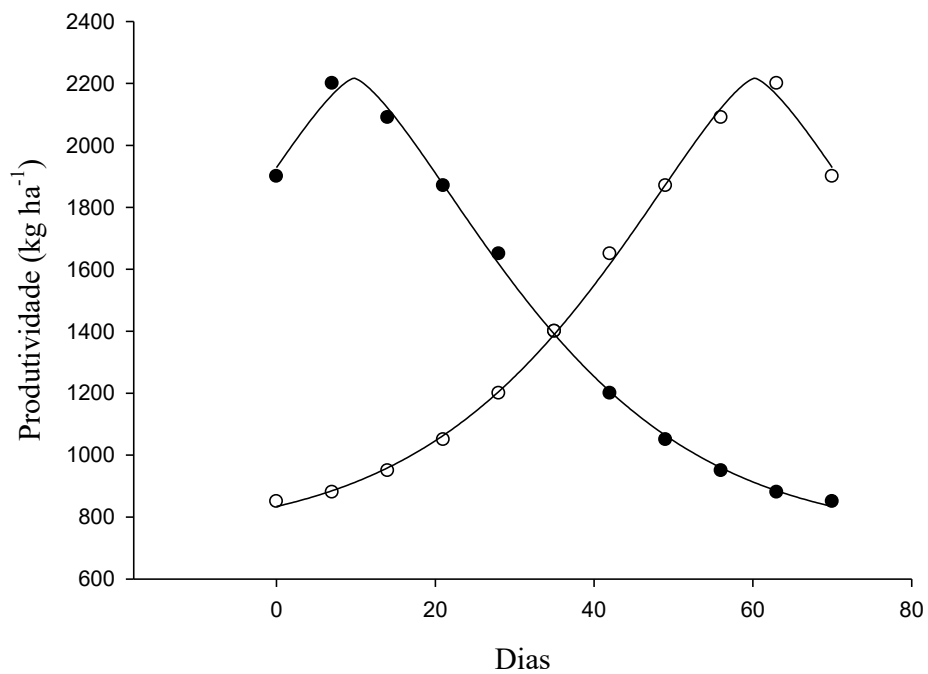


Figura 10. Dados fictícios de produtividade de uma cultura indeterminada em relação a períodos crescentes de controle e de convívio utilizados para o ajuste e teste das equações do Grupo II

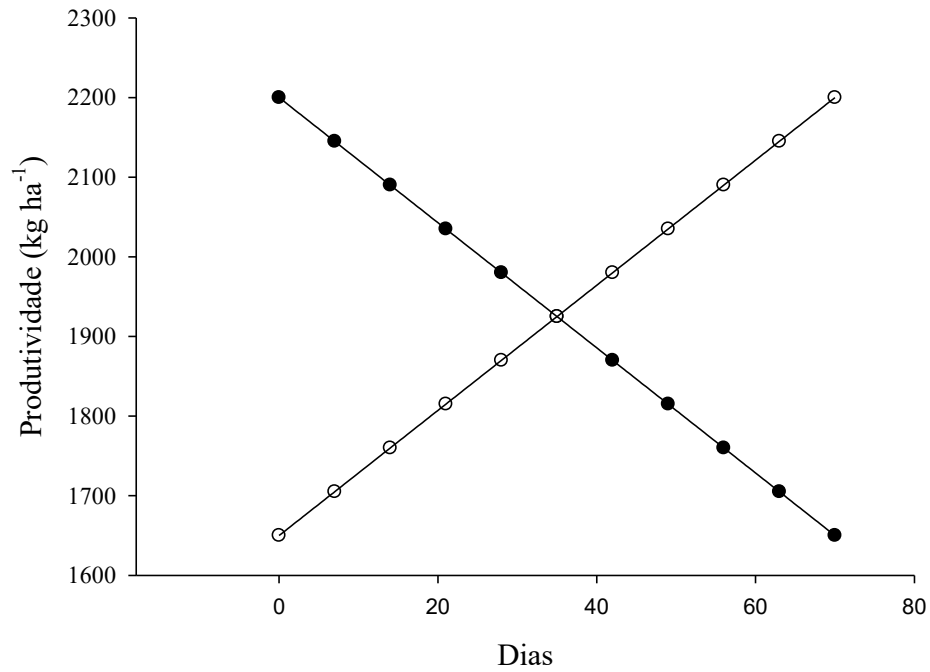


Figura 11. Dados fictícios de produtividade de uma cultura indeterminada em relação a períodos crescentes de controle convívio utilizados para o ajuste e teste das equações do Grupo III

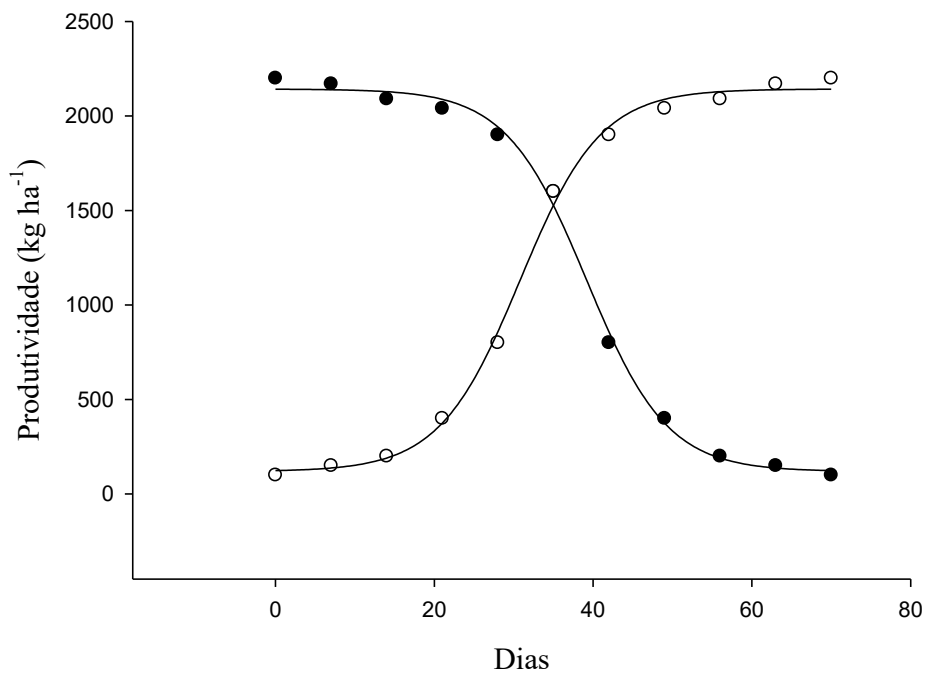


Figura 12. Dados fictícios de produtividade de uma cultura indeterminada em relação a períodos crescentes de controle utilizados para o ajuste e teste das equações do Grupo IV

Às equações do Grupo I não foi possível ajustar dados de períodos de convívio, apenas de períodos de controle. Além disso, para que houvesse o ajuste adequado a todas as equações, necessitou-se excluir o dia 0, devido à natureza intrínseca das equações.

Como esperado, os valores divergiram entre as equações, principalmente em decorrência da variação na produtividade máxima prevista pelos modelos (Tabela 8). Entretanto, observa-se que foram bastante consistentes e próximos aos valores predeterminados, o que demonstra que as equações inversas foram deduzidas corretamente.

Assim, para aplicar o método integral, bastará ao usuário selecionar as equações que ofereçam o melhor ajuste aos seus dados, obter os coeficientes por meio de regressão, e utilizá-los nas respectivas equações inversas, juntamente com os critérios econômicos adotados. Deste modo, espera-se que a prática de simulações múltiplas seja facilitada, principalmente com o uso de planilhas de cálculo eletrônicas.

Tabela 8. Período anterior à interferência (PAI), período total de prevenção da interferência (PTPI) e período crítico de prevenção à interferência (PCPI) de uma cultura hipotética, calculados por meio do método integral, com perda tolerada baseada nos fatores econômicos do PADRE

Nome da equação	PAI	PTPI	PCPI
Linear	14,00	56,00	14,00 – 56,00
Quadrática	–	42,75	–
Exponencial simples, 2 parâmetros	–	35,05	–
Exponencial simples, 3 parâmetros	–	42,24	–
Logarítmica, 2 parâmetros I	–	56,12	–
Logarítmica, 2 parâmetros II	–	56,80	–
Logarítmica, 3 parâmetros	–	52,62	–
Logarítmica de 2ª ordem	–	49,47	–
Equação de Boltzmann	24,76	45,24	24,76 – 45,24
Equação de Chapman, 4 parâmetros	–	49,29	–
Equação de Gompertz, 3 parâmetros	17,62	52,38	17,62 – 52,38
Equação de Gompertz, 4 parâmetros	20,78	49,22	20,78 – 49,22
Equação de Richards	–	44,26	–
Equação de Weibull	–	43,03	–
Logística, 3 parâmetros	25,96	52,16	25,96 – 52,16
Logística, 4 parâmetros I	27,20	48,54	27,20 – 48,54
Logística, 4 parâmetros II	27,20	48,54	27,20 – 48,54
Sigmoide, 3 parâmetros	22,18	47,82	22,18 – 47,82
Sigmoide, 4 parâmetros	24,75	45,25	24,75 – 45,25
Sigmoide, 5 parâmetros	24,48	45,52	24,48 – 45,52
Sigmoide de dose-resposta	24,76	45,24	24,76 – 45,24
Função de Gauss, 3 parâmetros	9,88	60,12	9,88 – 60,12
Função de Gauss, 4 parâmetros	18,08	51,92	18,08 – 51,92
Função de Gauss modificada, 5 parâmetros	25,79	44,21	25,79 – 44,21
Equação Lorentziana, 3 parâmetros	16,85	53,15	16,85 – 53,15
Equação Lorentziana, 4 parâmetros	16,92	53,08	16,92 – 53,08

– o período não pode ser determinado pela equação em questão, pois não ofereceu ajuste aos dados

3.5 CONCLUSÕES

A nova metodologia, o método integral, foi desenvolvida com sucesso.

O método integral demonstrou-se aplicável e preciso, ao ser testado em dados reais retirados da literatura, além de permitir a inclusão de critérios econômico com êxito.

O método integral apresentou-se prático e de fácil uso ao ser testado em dados hipotéticos, graças ao banco de equações criado.

3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINETTO, D. et al. Período crítico de competição de plantas daninhas com a cultura do trigo. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 271–278, 2008.

AHMADVAND, G.; MONDANI, F.; GOLZARDI, F. Effect of crop plant density on critical period of weed competition in potato. **Scientia Horticulturae**, v. 121, n. 3, p. 249–254, 2009.

AKOBUNDU, I.O. Weed interference and control in white yam (*Dioscorea rotundata* Poir). **Weed Research**, v. 21, n. 6, p. 267–272, 1981.

AMADOR-RAMIREZ, M.D. Critical period of weed control in transplanted chilli pepper. **Weed Research**, v. 42, n. 3, p. 203–209, 2002.

BRESSANIN, F.N. et al. Influência da adubação nitrogenada sobre a interferência de plantas daninhas em feijoeiro. **Revista Ceres**, v. 60, n. 1, p. 43–52, 2013.

CARVALHO, F.T.; VELINI, E.D. Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura da soja: I - cultivar iac-11. **Planta Daninha**, v. 19, n. 3, p. 317–322, 2001.

COSTA, A.G.F.; ALVES, P.L.C.A.; PAVANI, M.C.M.D. Períodos de interferência de trapoeraba (*Commelina benghalensis* Hort.) no crescimento inicial de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden). **Revista Árvore**, v. 28, n. 4, p. 471–478, 2004.

COSTA, N.V. et al. Weed interference periods in the “Fécua Branca” cassava. **Planta Daninha**, v. 31, n. 3, p. 533–542, 2013.

COUSENS, R. Misinterpretations of results in weed research through inappropriate use of statistics. **Weed Research**, v. 28, n. 4, p. 281–289, 1988.

DILLEHAY, B.L.; CURRAN, W.S.; MORTENSEN, D.A. Critical Period for weed control in alfalfa. **Weed Science**, v. 59, n. 1, p. 68–75, 2011.

EVANS, S.P. et al. Nitrogen application influences the critical period for weed control in corn. **Weed Science**, v. 51, n. 3, p. 408–417, 2003.

FEDORUK, L.K.; JOHNSON, E.N.; SHIRTLIFFE, S.J. The critical period of weed control for lentil in western canada. **Weed Science**, v. 59, n. 4, p. 517–526, 2011.

FRENDIA, A.S. et al. The critical period of weed control in faba bean and chickpea in mediterranean areas. **Weed Science**, v. 61, n. 3, p. 452–459, 2013.

GUSTAFSON, T.C. et al. Early-season insect defoliation influences the critical time for weed removal in soybean. **Weed Science**, v. 54, n. 3, p. 509–515, 2006.

HALL, M.R.; SWANTON, C.J.; ANDERSON, G.W. The critical period of weed control in grain corn (*Zea mays*). **Weed Science**, v. 40, n. 3, p. 441–447, 1992.

HUGO, E. et al. Critical periods of weed control for naked crabgrass (*Digitaria nuda*), a grass weed in corn in south africa. **Weed Science**, v. 62, n. 4, p. 647–656, 2014.

- JOHANNIS, O.; CONTIERO, R.L. Efeitos de diferentes períodos de controle e convivência de plantas daninhas com a cultura da mandioca. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 3, p. 326–331, 2006.
- KARKANIS, A. et al. The critical period for weed competition in parsley (*Petroselinum crispum* (Mill.) Nyman ex A.W. Hill) in Mediterranean areas. **Crop Protection**, v. 42, p. 268–272, 2012.
- KELLER, M. et al. Integrating economics in the critical period for weed control concept in corn. **Weed Science**, v. 62, n. 4, p. 608–618, 20 2014.
- KNEZEVIC, S.Z. et al. Critical period for weed control: the concept and data analysis. **Weed Science**, v. 50, n. 6, p. 773–786, 2002.
- KNEZEVIC, S.Z.; DATTA, A. The critical period for weed control: revisiting data analysis. **Weed Science**, v. 63, n. sp1, p. 188–202, 2015.
- KORRES, N.E.; NORSWORTHY, J.K. Influence of a rye cover crop on the critical period for weed control in cotton. **Weed Science**, v. 63, n. 1, p. 346–352, 2015.
- KOZLOWSKI, L.A. et al. Período crítico de interferência das plantas daninhas na cultura do feijoeiro-comum em sistema de semeadura direta. **Planta Daninha**, v. 20, n. 2, p. 213–220, 2002.
- MAHMOODI, S.; RAHIMI, A. Estimation of critical period for weed control in corn in iran. world academy of science, **Engineering and Technology**, v. 49, n. 1, p. 67–72, 2009.
- MARTIN, S.G.; VAN ACKER, R.C.; FRIESEN, L.F. Critical period of weed control in spring canola. **Weed Science**, v. 49, n. 3, p. 326–333, 2001.
- MESCHEDE, D.K. et al. Período crítico de interferência de *Euphorbia heterophylla* na cultura da soja sob baixa densidade de semeadura. **Planta Daninha**, v. 20, n. 3, p. 381–387, 2002.
- NIETO, J.H.; BRONDO, M.A.; GONZALEZ, J.T. Critical periods of the crop growth cycle for competition from weeds. **PANS**, n. 14, p. 159-166, 1968.
- ODERO, D.C.; WRIGHT, A.L. Phosphorus application influences the critical period of weed control in lettuce. **Weed Science**, v. 61, n. 3, p. 410–414, 2013.
- OTTO, S.; LODDO, D.; ZANIN, G. Weed-poplar competition dynamics and yield loss in Italian short-rotation forestry. **Weed Research**, v. 50, n. 2, p. 153–162, 2010.
- PARREIRA, M.C. et al. Modeling of weeds interference periods in bean. **Planta Daninha**, v. 30, n. 4, p. 713–720, 2012.
- 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**, v. 32, n. 4, p. 727–738, 2014.
- PITELLI, R.A.; DURIGAN, J.C. Terminologia para períodos de controle e de convivência das plantas daninhas em culturas anuais e bianuais. In: Congresso Brasileiro de Herbicidas e Plantas daninhas, 15, 1984, Belo Horizonte-MG, **Resumos...** Piracicaba-SP: SBHED, 1984. p.37.

RATKOWSKY, D.D. **Handbook of nonlinear regression models**. Dekker: Nova Iorque, US, 1990. 241 p.

SALGADO, T.P. et al. Interferência das plantas daninhas no feijoeiro carioca. **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 443–448, 2007.

SILVA, I.A.B. et al. Interferência de uma comunidade de plantas daninhas com predominância de *Ipomoea hederifolia* na cana-soca. **Planta Daninha**, v. 27, n. 2, p. 265–272, 2009.

STAGNARI, F.; PISANTE, M. The critical period for weed competition in French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Mediterranean areas. **Crop Protection**, v. 30, n. 2, p. 179–184, 2011.

STORCK, L. et al. Método de Papadakis e número de repetições em experimentos de soja. **Ciência Rural**, v. 39, n. 4, p. 977–9820, 2009.

SWANTON, C.J.; O’SULLIVAN, J.; ROBINSON, D.E. The critical weed-free period in carrot. **Weed Science**, v. 58, n. 3, p. 229–233, 2010.

VAN ACKER, R.C.; SWANTON, C.J.; WEISE, S.F. The critical period of weed control in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. **Weed Science**, v. 41, n. 2, p. 194–200, 1993.

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

VIDAL, R.A.; FLECK, N.G.; MEROTTO JR., A. Período anterior ao dano no rendimento econômico (PADRE): nova abordagem sobre os períodos de interferência entre plantas daninhas e cultivadas. **Planta Daninha**, v. 23, n. 3, p. 387–396, 2005.

WEAVER, S.E. Critical period of weed competition in 3 vegetable crops in relation to management-practices. **Weed Research**, v. 24, n. 5, p. 317–325, 1984.

WEAVER, S.E.; KROPFF, M.J.; GROENEVELD, R.M.W. Use of ecophysiological models for crop-weed interference: The critical period of weed interference. **Weed Science**, v. 40, n. 2, p. 302–307, 1992.

WEBSTER, T.M. et al. The critical period of Bengal dayflower (*Commelina Bengalensis*) control in peanut. **Weed Science**, v. 55, n. 4, p. 359–364, 2007.

WEBSTER, T.M. et al. Cotton planting date affects the critical period of benghal dayflower (*Commelina benghalensis*) control. **Weed Science**, v. 57, p. 81–86, 2009.

WILLIAMS, M.W.M.M. Planting date influences critical period of weed control in sweet corn. **Weed Science**, v. 54, n. 5, p. 928–933, 2006.

4 ARTIGO 2: PERÍODOS DE CONVIVÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS NO FEIJOEIRO INOCULADO COM *RHIZOBIUM TROPICI* OU COM ADUBAÇÃO NITROGENADA

RESUMO: o objetivo foi verificar se a substituição da adubação nitrogenada em cobertura pela inoculação com *R. tropici* pode aumentar a tolerância do feijoeiro à matointerferência e, assim, alongar seu PAI. Foram instalados dois experimentos de período de convívio da cultura com as plantas daninhas, durante os anos de 2014 e 2015. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com 4 repetições, em esquema fatorial 2x10, 2 manejos e 10 períodos de convívio. Os períodos, em dias após a emergência (DAE), foram 0 (testemunha), 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63 e 90 (até a colheita). Ao final de cada período foi realizado o levantamento florístico, calculada a densidade e massa seca de cada espécie de planta daninha. Também foi elaborada uma curva de acúmulo de massa seca da parte aérea da cultura e determinados os seus estádios fenológicos. Na colheita foi realizada a contagem da população de plantas de feijoeiro e determinada a massa de mil grãos e a produtividade da cultura. O PAI foi determinado pelo método integral, o critério usado para se determinar a perda tolerada foi o critério econômico do PADRE. A substituição da adubação nitrogenada em cobertura pela inoculação com *Rhizobium tropici* não aumentou a capacidade da cultura em competir com as plantas daninhas e não alongou o PAI, o qual foi proporcionado pelo uso da adubação nitrogenada em cobertura. O PAI para o feijoeiro sob o manejo sem adubação nitrogenada em cobertura e com inoculação (sem N) ficou entre 17,80 e 49,51 DAE na média dos anos; enquanto que quando sob o manejo com adubação em cobertura e sem inoculação o PAI se situou entre 26,38 e 57,06 DAE, na média dos anos.

Palavras-chave: PAI. PADRE. *Phaseolus vulgaris*. Matointerferência. Manejo.

ABSTRACT: the objective was to verify if the substitution of the broadcast nitrogen fertilization by the inoculation with *R. tropici* can increase the bean crop tolerance to the weed interference and, thus, to extend its PPI. Two experiments of coexistence periods were installed during the seasons of 2014 and 2015. The experimental design was a randomized block design, with 4 replications, in a 2x10 factorial scheme, 2 handlings and 10 coexistence periods. The periods, in days after emergence (DAE), were 0 (control), 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63 and 90 (until harvest). At the end of each period the floristic survey was performed, calculating the density and dry mass of each weed species. A curve of accumulation of dry mass of the aerial part of the crop was also elaborated and its phenological stages determined. At harvest was performed to count the population of bean plants and determined the thousand grain weight and productivity of the culture. The PPI was determined by the integral method, the criterion used to determine the tolerated loss was the economic criterion of the WEEPEL. The substitution of broadcast nitrogen fertilization by inoculation with *Rhizobium tropici* did not increase the crop ability to compete with weeds and did not lengthen the PPI, which was provided by the use of broadcast nitrogen fertilization. The PPI for the bean under handling without broadcast nitrogen fertilization and with inoculation (without N) was between 17.80 and 49.51 DAE in mean of seasons; While when under handling with broadcast nitrogen fertilization and without inoculation the PPI was between 26.38 and 57.06 DAE, in mean of seasons.

Keywords: PPI. WEEPEL. *Phaseolus vulgaris*. Weed interference. Handling.

4.1 INTRODUÇÃO

As plantas daninhas, durante seu desenvolvimento, absorvem e acumulam nutrientes em seus tecidos, de modo a reduzir a disponibilidade desses para a cultura coexistente. Em um ambiente com quantidade limitada de nutrientes, na medida que as plantas daninhas os absorvem e acumulam, a cultura apresenta redução da concentração desses em seus tecidos, o que prejudica seu desenvolvimento e rendimento (BLACKSHAW; BRANDT, 2008; RONCHI; TERRA; SILVA, 2007).

Por serem selecionadas naturalmente pela capacidade de sobrevivência, as plantas daninhas tendem a apresentar maior eficiência no aproveitamento dos recursos naturais e, portanto, maior capacidade competitiva. Dentre os fatores que propiciam tais vantagens às plantas daninhas destaca-se o sistema radicular mais desenvolvido e agressivo (PLACE et al., 2008; KABBA; KNIGHT; VAN REES, 2011).

Ao compararem a eficiência de absorção do nitrogênio pelas culturas da soja e do feijão e por três diferentes espécies de plantas daninhas, Procópio et al. (2004) observaram que ao aplicarem doses crescentes de nitrogênio, as plantas daninhas apresentaram incremento de área foliar e de massa radicular superiores ao feijoeiro. Blackshaw et al. (2003) Blackshaw, Molnar e Janzen (2004) e Blackshaw e Brandt (2008) também observaram correlação positiva entre o desenvolvimento de algumas espécies de plantas daninhas e a fertilização com nitrogênio. Kabba et al. (2011) ao compararem a quantidade de nitrogênio absorvido por um híbrido de álamo, na presença e na ausência de matointerferência, verificaram que a coexistência de plantas daninhas durante o desenvolvimento do álamo gerou redução de até 10 vezes na quantidade de nitrogênio absorvido.

Deste modo, ao aplicar-se fertilizantes nitrogenados em área total para aumentar o desempenho da cultura do feijoeiro, pode-se aumentar a competitividade das plantas daninhas em relação à cultura. Assim, poderia haver uma maior matointerferência e dificuldade no manejo das plantas daninhas.

Contudo, esse problema poderia ser solucionado, teoricamente, pela substituição da fertilização nitrogenada pelo uso da inoculação com bactérias diazotróficas; uma vez que, leguminosas, como o feijão, possuem a capacidade de associarem-se simbioticamente a essas bactérias, o que reduz sua dependência em relação ao solo como fonte de nitrogênio (REIS JÚNIOR et al., 2011). As bactérias fixadoras de nitrogênio, principalmente algumas estirpes de *Rhizobium tropici*, utilizadas hoje em produtos comerciais, podem fornecer ao feijoeiro todo o nitrogênio necessário, em condições ambientais adequadas (PELEGRIN et al., 2009).

O período anterior à interferência das plantas daninhas (PAI), representa o período que a cultura tolera o convívio com as plantas daninhas sem apresentar perdas significativas de produtividade (AGOSTINETTO et al., 2008). Devido a isso, o PAI constitui-se numa importante ferramenta para o manejo integrado de plantas daninhas e para os estudos sobre as interações entre as plantas daninhas, a cultura e o ambiente (SWANTON et al., 2008).

Deste modo, a hipótese do presente estudo sustenta-se na premissa de que o feijoeiro inoculado poderia ter uma fonte exclusiva e eficiente de nitrogênio, o que tornaria a cultura mais competitiva em relação à comunidade das plantas daninhas e poderia alongar seu PAI.

O objetivo do trabalho foi determinar o PAI em feijoeiro sob diferentes manejos da adubação nitrogenada e verificar se a substituição da adubação nitrogenada em cobertura pela inoculação com *R. tropici* pode gerar vantagem competitiva ao feijoeiro.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Local, solo, dados meteorológicos e preparo da área experimental

Os experimentos de períodos de convívio, da cultura do feijoeiro com as plantas daninhas, foram conduzidos na Estação Experimental Prof. Dr. Antônio Carlos dos Santos Pessoa, situada no município de Marechal Cândido Rondon, na região oeste do estado do Paraná. O local encontra-se sob as coordenadas 24° 31' 58,68" S e 54° 01' 04,04" O, à altitude de 395 m acima do nível do mar.

O solo foi classificado como um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico, conforme o sistema brasileiro de classificação de solos (SANTOS et al., 2014). A análise granulométrica do solo indicou 686,5 g kg⁻¹ de argila, 258,5 g kg⁻¹ de silte e 55,0 g kg⁻¹ de areia, o que o define como um solo de textura muito argilosa (WIETHÖLTER et al., 2004).

A caracterização química dos solos foi realizada mediante análises químicas, as quais estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado das análises químicas realizadas para as áreas em que foram instalados os experimentos

Ano	P mg dm ⁻³	M.O. g dm ⁻³	pH CaCl ₂	H+Al	Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	V	Al
					----- cmolc dm ⁻³ -----						---- % ----	
2014	25,41	23,24	4,60	7,52	0,40	0,41	4,74	1,36	6,51	14,10	46,40	5,79
2015	42,02	21,87	4,86	5,06	0,30	0,48	2,89	1,85	5,22	10,28	50,78	5,43

No ano de 2014, foi aplicado no mês de agosto 4000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico para elevar a saturação por bases do solo a 70%. O experimento foi semeado em sistema de semeadura direta, em área anteriormente cultivada com aveia branca e nabo. A área foi dessecada 30 dias antes por meio da aplicação de 1,44 g ha⁻¹ de glifosato. A massa seca da palhada resultante foi de 2.200 kg ha⁻¹, na média.

No ano de 2015, foi aplicado no mês de fevereiro 2500 kg ha⁻¹ de calcário calcítico para elevar a saturação por bases do solo a 70%. O ensaio foi semeado em sistema de semeadura direta, sobre uma área contígua à do ano anterior, onde foi cultivado canola anteriormente, a qual foi dessecada 20 dias antes por meio da aplicação de 1,44 g ha⁻¹ de glifosato. A massa seca da palhada existente sobre o solo, no dia da semeadura, foi média de 2.600 kg ha⁻¹, em média.

As adubações foram baseadas nas recomendações propostas por Rosolem e Marubayashi (1994), para proporcionar um potencial produtivo de até 3.000 kg ha⁻¹. Em ambas as áreas há histórico de cultivos de feijão, ao longo dos últimos anos.

Os dados meteorológicos referentes aos períodos de execução dos experimentos estão descritos na Figura 1.

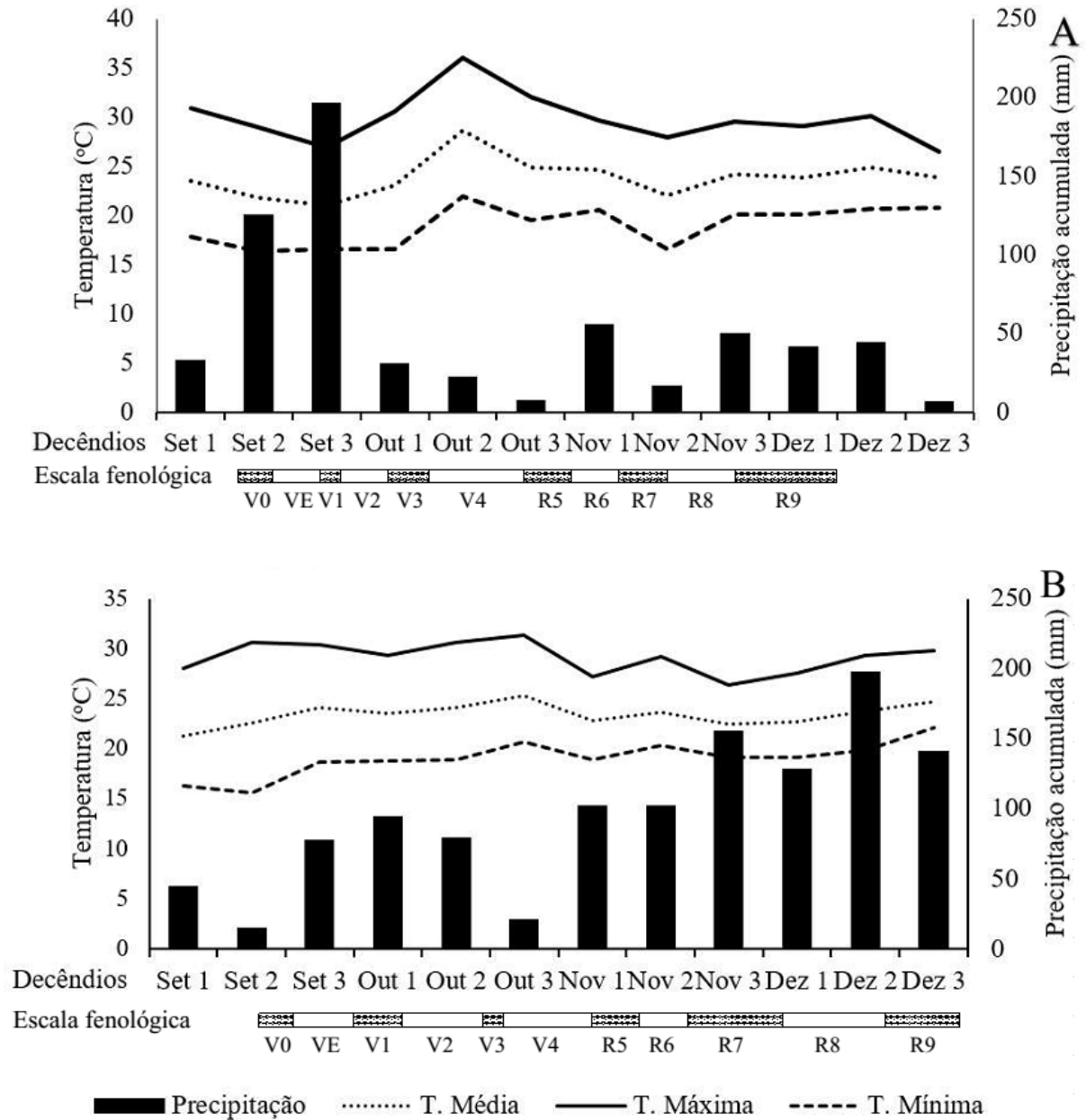


Figura 1. Dados meteorológicos referentes às médias decendiais da temperatura média (T Média), máxima (T Máxima) e mínima (T Mínima) e o acumulado pluviométrico decenal, no período de execução do primeiro experimento, do início do mês de agosto ao final do mês de dezembro de 2014 (A) e do início do mês de agosto ao final do mês de dezembro de 2015 (B)

4.2.2 Delineamento experimental, descrição dos tratamentos e instalação dos experimentos

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 2x10, os quais correspondem a 2 manejos e 10 períodos de convívio. As parcelas foram constituídas de 5 linhas de semeadura, espaçadas em 0,50 m, com 5 m de comprimento, de modo a formar parcelas com 12,5 m². A área útil, na qual se restringiram todas as avaliações, foi composta pelas três linhas centrais de cada parcela e os 4 m centrais de cada linha, assim a resultar em uma área de 6 m².

A semeadura do primeiro experimento ocorreu no dia 12/09/2014; a densidade de semeadura adotada foi de 23 sementes m⁻¹ (a densidade de semeadura foi elevada devido ao vigor reduzido das sementes disponíveis); a adubação de base foi de 269 kg ha⁻¹ do formulado NPK 02-20-18. A semeadura do segundo experimento ocorreu no dia 16/09/2015, adotou-se como densidade de semeadura 12,3 sementes m⁻¹; utilizou-se 300 kg ha⁻¹ do formulado NPK 04-24-12 na adubação de base.

Os manejos adotados foram: 1) inoculação das sementes com *Rhizobium tropici*, sem nenhuma complementação com fertilizantes nitrogenados; e 2) sem inoculação das sementes e aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura, fracionada em duas aplicações, uma em V₄ e outra em R₅. Para facilitar a referência a tais tratamentos, os mesmos foram denominados como sem N e com N, respectivamente.

A inoculação das sementes foi realizada imediatamente antes da semeadura, com o inoculante comercial turfoso Masterfix Feijão®, da Stoller, na dose de 100 g do produto para 60 kg de sementes, com a adição de 10% de açúcar à calda. As sementes não receberam tratamento químico de inseticidas e/ou fungicidas, para evitar efeito negativo sobre o rizóbio, como recomendado por Araujo et al. (2007).

A adubação nitrogenada em cobertura foi realizada apenas nos tratamentos em que as sementes não foram inoculadas com o rizóbio. A adubação de cobertura foi parcela em duas aplicações, de 60 kg ha⁻¹ de N cada: a primeira no estágio V₄, o qual ocorreu aos 29 DAE e aos 21 DAE nos anos de 2014, e a segunda no estágio R₅, o qual ocorreu aos 49 e aos 43 DAE nos anos de 2014 e 2015, respectivamente. O fertilizante nitrogenado utilizado foi a ureia (44% N) e a aplicação foi realizada manualmente.

Os períodos de convívio, em dias após a emergência (DAE), foram de 0, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63 e até a colheita (90 DAE), para ambos os anos. O período de convívio 0 foi estabelecido como o padrão da cultura “no limpo”, ou seja, sem o convívio com as plantas daninhas durante todo o ciclo. O período de convívio até a colheita foi estabelecido como o padrão da cultura “no sujo”, ou seja, com o convívio com as plantas daninhas durante todo o seu ciclo.

4.2.3 Avaliações

Ao final de cada período de convivência foi determinada a densidade de plantas e massa seca de cada espécie de planta daninha existente. Para tanto, utilizou-se de um quadro metálico com 0,50 m de lado para delimitar a área amostrada, o qual foi disposto duas vezes em cada parcela de maneira aleatória. Na área compreendida pelo quadro, foram identificadas, contadas e extraídas as plantas daninhas, as quais foram acondicionadas em sacos de papel identificados e levadas à estufa a temperatura de 55°C, por dois dias. Após secas, as amostras foram pesadas em balança com precisão de 0,0001 g, para a obtenção de suas respectivas massas secas. Os valores de massa seca por amostra (g amostra^{-1}) foi convertido a massa seca por hectare (kg ha^{-1}).

Ao término de cada período de convivência também foi realizada a capina manual da parcela. Nos tratamentos cujo período de convívio já havia se encerrado, foram realizadas capinas semanais.

Adicionalmente, foram amostradas dozes plantas de feijão ao final de cada período de convívio para a determinação de seu estágio fenológico e de sua massa seca, seis do tratamento sem N e seis do com N. As amostras foram coletadas em área previamente estabelecidas para a realização da amostragem das plantas, sem prejuízo da área útil, na qual a cultura foi mantida sem matointerferência durante todo o ciclo. Os estádios fenológicos foram determinados conforme a escala descrita por Fernández, Gepts e López (1985). Essas informações foram utilizadas para determinar a curva de crescimento e desenvolvimento da cultura.

Ao final do experimento determinou-se a população final da cultura na área útil da parcela. O feijão foi colhido manualmente, por arranquio das plantas inteiras, as quais foram alocadas em local fresco e arejado para secar. Após a secagem, houve a debulha manual das amostras e, concomitantemente, a limpeza manual dos grãos por meio de peneira.

Em sequência à debulha e limpeza, realizou-se a pesagem e a classificação dos grãos colhidas nas parcelas, na qual foram descartados os grãos de baixo padrão e mofados. Também se determinou a umidade dos grãos, dado que foi utilizado para corrigir a massa de 1000 grãos e a produção das parcelas. Os dados de produção por parcela (g parcela^{-1}) foram convertidos para produtividade (kg ha^{-1}).

4.2.4 Métodos estatísticos e equações utilizadas

Os dados foram submetidos a análise de normalidade pelos métodos de Lilliefors e Kolmogorov-Smirnov, por meio do programa estatístico R, e a análise de variância, pelo uso do programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2014).

Primeiramente foi efetuada a análise de cada ano, separadamente. Após, a fim de atender o pré-requisito descrito por Pimentel-Gomes (2009) para a realização da análise conjunta, determinou-se a razão entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo dos ambientes, em cada variável, a qual necessitava ser inferior a 7 para que fosse possível realizar a análise conjunta. A análise de variância conjunta foi efetuada por meio do programa estatístico Sisvar.

Para identificar qual das variáveis referentes à comunidade de plantas daninhas (massa seca ou densidade de plantas) melhor se correlacionou com a produtividade da cultura, de modo a explicá-la mais claramente, realizou-se análise de correlação e de trilha por meio do programa estatístico Genes.

As discussões acerca da influência das plantas daninhas sobre a produtividade da cultura foram, portanto, realizadas com base na curva de progresso da variável em questão em relação ao tempo de convívio da cultura com as plantas daninhas. Por outro lado, para se analisar a importância das espécies de plantas daninhas, determinou-se o valor relativo da variável em questão para cada espécie. O valor relativo foi calculado por meio da Equação 1:

$$VR = \frac{V_i}{\sum_j V_i} \cdot 100 \quad (1)$$

Em que VR é o valor relativo (%), V_i é o valor para a espécie individual e $\sum_j V_i$ é o somatório dos valores individuais (i) dentro do período (j), o qual pode ser uma parcela, um período, tratamento ou ano.

Os dados quantitativos foram submetidos a ajuste de regressão, mediante o uso do programa estatístico SigmaPlot versão 11.0. Os dados de produtividade do feijoeiro em função dos dias de convívio com as plantas daninhas foram submetidos a regressão pelo modelo não-linear do Pico Gaussiano ou função de Gauss, de 4 parâmetros (Equação 2).

$$f(x) = y_0 + a \cdot e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x-x_0}{b}\right)^2\right]} \quad (2)$$

Em que o y_0 corresponde à produtividade mínima, a é a diferença entre a produtividade máxima e a mínima, e é o número de Euler ou número neperiano ($e=2,718281828459045235360287$), x é o número de dias após a emergência que a cultura conviveu com as plantas daninhas, x_0 é a quantidade de dias de convívio que proporcionou a maior produtividade e b é a distância entre o ponto de inflexão da curva e x_0 .

Para determinar-se PAI, foi utilizada a metodologia desenvolvida por Franciscon et al.¹. O critério utilizado para determinar a perda de produtividade tolerada foi o critério econômico baseado no conceito do PADRE (FRANCISCON et al.¹).

O feijão constitui-se em um produto agrícola voltado para o mercado interno, que sofre variações sazonais de valores, como pode ser observado no site de commodities agrícola Agrolink (2016). Portanto, com o intuito de reduzir o efeito da variação sazonal, utilizou-se os preços mínimo e máximo ocorridos para o feijão carioca no território nacional nos últimos 10 anos. Os valores foram obtidos do site Agrolink (2016).

Para a obtenção do custo do herbicida, utilizou-se o custo de um graminicida pós-emergente (cletodim), um latifolicida pós-emergente (fomesafen), um graminicida pré-emergente (S-metolachlor), um latifolicida pré-emergente (flumioxazin) e possíveis combinações entre eles (Tabela 2). Os valores dos produtos foram consultados em uma cooperativa local², as doses dos produtos foram baseadas em suas bulas, presentes no endereço eletrônico da Seab (2016).

O custo de aplicação foi baseado naquele esperado ao se utilizar um trator de 90 cv, com tração auxiliar nas rodas dianteiras (TDA), em uma velocidade média de trabalho de 7 km h⁻¹ e um pulverizador de arrasto com capacidade de 2000 L e largura de barras de 18 m, utilizados em uma propriedade com aproveitamento média das horas trabalhadas de 70%.

¹ Franciscon et al. Método integral: unificação dos métodos de determinação de períodos de convívio e de controle das plantas daninhas. *Em fase de elaboração*.

² Valores de produtos consultados na Cooperativa Agrícola Mista Rondon Ltda. (Copagrill), unidade de Marechal Cândido Rondon, PR, no dia 11 de novembro de 2016.

Tabela 2. Produtos comerciais (p.c.) utilizados para calcular o custo do herbicida, utilizado na determinação do PADRE, e seus respectivos ingredientes ativos, doses de bula e preços praticados em revendas locais

Produto Comercial	M.A.	Ingrediente ativo	Dose p.c. (kg ou L ha ⁻¹)	Preço (R\$ ha ⁻¹)
Flex	Pós	fomesafen	1,00	111,00
Select	Pós	cletodim	0,40	54,80
Dual Gold	Pré	S-metolachlor	1,20	77,50
Flumyzin	Pré	flumioxazin	0,05	27,13
Flex + Select	Pós	–	1,00 + 0,40	165,80
Dual Gold + Flumizyn	Pré	–	1,20 + 0,05	104,63
Flex + Dual Gold + Select + Flumyzin	Pós+Pré	–	1,00 + 1,20 + 0,40 + 0,05	270,43

Como não foram encontrados na literatura trabalhos recentes que descrevessem o custo de aplicação para as condições estabelecidas, o custo de aplicação foi calculado conforme uma equação empírica adaptada do trabalho de Piacentini et al. (2012) (Equação 3).

$$CA = CD.PD + VHMO.HT + CHM.HT \quad (3)$$

Em que **CA** é o custo de aplicação (R\$ ha⁻¹), **CD** é o consumo de combustível por hectare (L ha⁻¹), **PD** é o preço do litro do combustível (R\$ L⁻¹), **VHMO** é o valor horário da mão-de-obra (R\$ dia⁻¹), **HT** é o número de horas trabalhadas por hectare (h ha⁻¹) e **CHM** é o custo horário do maquinário (R\$ h⁻¹). O número de horas trabalhadas por hectare (**HT**) foi calculado com base na Equação 4:

$$HT = \frac{10}{b.v.E} = \frac{10}{18.7.0,7} = 0,1134 \quad (4)$$

Na qual o número 10 foi utilizado para a transformação das unidades, **b** é a largura da barra em metros, **v** é a velocidade de trabalho em km h⁻¹ e **E** é a eficiência de trabalho (70%/100 = 0,7).

O consumo de combustível (**CD**) adotado foi de 20 L h⁻¹ (SILVA, 1995). O preço utilizado para o litro do óleo diesel foi de R\$ 2,90 (DERAL, 2016). O valor horário da mão-de-obra foi baseado no valor praticado localmente, de 200,00 R\$ dia⁻¹, jornada de 8 h dia⁻¹, ou seja, 25,00 R\$ h⁻¹.

O custo horário das máquinas (**CHM**) foi composto pelo somatório da depreciação e manutenção das máquinas utilizadas. A depreciação horária foi calculada pela divisão do valor líquido do maquinário (90% do preço do trator + 90% do preço do pulverizador) dividido pela vida útil, 6000 h (COSENTINO, 2004). O custo de manutenção horário foi considerado como 10% do valor do maquinário novo dividido pela vida útil (PIACENTINI et al., 2012).

Os valores do trator e pulverizador novos foram obtidos do Deral (2016), que foram de R\$ 122.000,00 e R\$ 78.000,00, respectivamente.

Como o custo de controle ficou entre 27,13 e 270,43 R\$ ha⁻¹ e o valor do feijão carioca oscilou entre 0,86 e 7,30 R\$ kg⁻¹, para proporcionar uma estimativa mais abrangente do PAI, este foi determinado com base numa oscilação do custo de controle de 25 a 300 R\$ ha⁻¹ e do valor do produto entre 0,83 e 8,33 R\$ kg⁻¹.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Análise de variância

Como a razão entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo foi inferior a 7 para todas as variáveis analisadas (Tabela 3), e como todas as variáveis passaram em ao menos um dos testes de normalidade, realizou-se a análise de variância conjunta, sem a necessidade de transformação de dados ou correção dos graus de liberdade (Tabela 4).

Tabela 3. Quadrado médio do resíduo obtido para cada variável em cada ano de experimentação, e as respectivas razões entre o maior e o menor Q.M.R., para cada variável

Variável	2014	2015	Razão
Densidade PD	187,83	27.315,43	145,43
MSPD	60.212,01	44.630,67	1,35
População (cultura)	54.160.266,60	116.669.307,08	2,15
1000 grãos	76,34	105,07	1,38
Produtividade	35.537,91	36.412,79	1,02

MSPD = massa seca de plantas daninhas, 1000 grãos = massa de mil grãos.

As variáveis densidade de plantas daninhas e MSPD foram alteradas significativamente ($p < 0,05$) pelos fatores ano, manejo e período, e pelas interações duplas e tripla entre eles. Sobre a população incidiu influência dos fatores ano, manejo e período, e das interações entre ano e manejo e entre manejo e período. Sobre a variável massa de mil grãos, houve influência apenas dos fatores ano e da interação entre ano e manejo. A variável produtividade foi influenciada significativamente pelos fatores ano, manejo e período, e pelas interações duplas (Tabela 6).

Tabela 4. Análise de variância conjunta dos experimentos, realizada para as variáveis densidade de plantas daninhas (Densidade PD), massa seca de plantas daninhas (MSPD), população de plantas (População), massa de mil grãos (1000 grãos) e produtividade

FV	G.L.	Densidade PD		MSPD		População		1000 grãos		Produtividade	
		Q.M.	P	Q.M.	P	Q.M.	P	Q.M.	P	Q.M.	P
Ano (A)	1	1.830.434,29	0,001	2011479,89	0,001	4.428.066.390,00	0,001	2.533,27	0,001	2.731.891,56	0,001
Manejo (M)	1	641.508,85	0,001	6450864,66	0,001	3.907.385.090,00	0,001	0,58	0,937	826.628,63	0,001
Período (P)	9	87.164,62	0,001	62.836.356,44	0,001	1.593.556.490,00	0,001	28,30	0,970	1.222.467,27	0,001
Bloco/Ano	6	51.784,50	0,002	40.301,37	0,172	301.008.913,27	0,001	355,56	0,001	167.728,98	0,001
A x M	1	599.856,84	0,001	1.224.476,81	0,001	1.278.488.990,00	0,001	416,44	0,034	251.961,65	0,009
A x P	9	83.321,00	0,001	306.837,29	0,001	55.185.176,39	0,756	96,92	0,391	74.172,98	0,039
M x P	9	55.228,76	0,001	2.039.555,39	0,001	186.826.492,81	0,028	91,88	0,434	160.064,59	0,001
A x M x P	9	54.982,87	0,001	616.464,18	0,001	100.978.387,37	0,313	100,90	0,360	36.768,71	0,427
Resíduo	114	13.751,63		52.421,34		85.414.786,84		90,70		35.975,35	
CV %		97,73		18,36		10,89		4,41		15,95	

F.V. = fator de variação; G.L. = graus de liberdade; Q.M. = quadrado médio da variância; P = probabilidade de erro.

4.3.2 Plantas daninhas

4.3.2.1 Espécies Identificadas Durante os Experimentos e Influência dos Manejos Sobre a Composição da Comunidade de Plantas Daninhas

No manejo sem N foram identificadas 21 espécies de plantas daninhas, pertencentes a 10 diferentes famílias. No com N o número de espécies foi de 14, separadas em 9 famílias. As espécies daninhas que apresentaram maior importância no manejo sem N foram *Conyza* spp., *Brachiaria plantaginea*, *Digitaria insularis* e *Raphanus raphanistrum* (Tabela 3). No manejo com N as espécies mais importantes foram *Amaranthus* spp., *Brachiaria plantaginea*, *Brassica napus*, *Digitaria horizontalis* e *Raphanus raphanistrum* (Tabela 4).

Tabela 5. Espécies de plantas daninhas identificadas durante a execução do experimento no manejo sem N na média dos anos e suas respectivas densidades relativas (D.R. %) e massas secas relativas (M.R. %)

Família	Nome científico	Nome comum	D.R. %	M.R. %
<i>Amaranthaceae</i>	<i>Amaranthus</i> spp.	Caruru	2,49	1,79
<i>Asteraceae</i>	<i>Achyrocline satureioides</i>	Macela	0,61	0,05
<i>Asteraceae</i>	<i>Bidens</i> spp.	Picão-preto	3,61	1,35
<i>Asteraceae</i>	<i>Conyza</i> spp.	Buva	7,20	17,41
<i>Asteraceae</i>	<i>Emilia sonchifolia</i>	Falsa-serralha	0,31	0,21
<i>Asteraceae</i>	<i>Sonchus oleraceus</i>	Serralha	2,45	1,46
<i>Brassicaceae</i>	<i>Crambe abyssinica</i>	Crambe	0,36	0,13
<i>Brassicaceae</i>	<i>Raphanus raphanistrum</i>	Nabo	35,42	13,66
<i>Commelinaceae</i>	<i>Commelina</i> spp.	Trapoeaba	4,39	3,61
<i>Convolvulaceae</i>	<i>Ipomoea grandifolia</i>	Corda-de-viola	0,31	0,18
<i>Malvaceae</i>	<i>Sida</i> spp.	Guanxuma	1,12	0,31
<i>Phyllanthaceae</i>	<i>Phyllanthus</i> spp.	Quebra-pedra	0,10	0,00
<i>Poaceae</i>	<i>Avena sativa</i>	Aveia branca	4,97	0,74
<i>Poaceae</i>	<i>Brachiaria plantaginea</i>	Capim-marmelada	8,41	23,69
<i>Poaceae</i>	<i>Cenchrus echinatus</i>	Capim-carrapicho	0,10	0,00
<i>Poaceae</i>	<i>Digitaria horizontalis</i>	Capim-colchão	2,99	0,56
<i>Poaceae</i>	<i>Digitaria insularis</i>	Capim-amargoso	18,74	23,72
<i>Poaceae</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	Azevém	0,76	0,09
<i>Poaceae</i>	<i>Sorghum halepense</i>	Vassoura	1,12	1,56
<i>Rubiaceae</i>	<i>Richardia brasiliensis</i>	Poaia	4,14	6,68
<i>Solanaceae</i>	<i>Solanum americanum</i>	Maria-preta	0,41	2,78

A composição da comunidade de plantas daninhas foi semelhante entre os tratamentos em ambos os anos. Essa semelhança pôde ser confirmada pelo índice de similaridade, o qual foi de 68,57% e 89,47% entre os manejos, para o ano de 2014 e 2015 respectivamente. O índice demonstra que o manejo não alterou significativamente a comunidade de plantas daninhas.

Tabela 6. Espécies de plantas daninhas identificadas durante a execução do experimento no manejo com N na média dos anos e suas respectivas densidades relativas (D.R. %) e massas secas relativas (M.R. %)

Família	Nome científico	Nome comum	D.R. %	M.R. %
<i>Amaranthaceae</i>	<i>Amaranthus</i> spp.	Caruru	15,02	16,86
<i>Amaranthaceae</i>	<i>Chenopodium quinoa</i>	Quinoa	0,13	0,02
<i>Asteraceae</i>	<i>Bidens</i> spp.	Picão-preto	4,47	0,22
<i>Brassicaceae</i>	<i>Brassica napus</i>	Canola	9,17	3,81
<i>Brassicaceae</i>	<i>Raphanus raphanistrum</i>	Nabo	43,52	6,96
<i>Commelinaceae</i>	<i>Commelina</i> spp.	Trapoeraba	0,77	0,22
<i>Convolvulaceae</i>	<i>Ipomoea grandifolia</i>	Corde-de-viola	2,05	2,20
<i>Malvaceae</i>	<i>Sida</i> spp.	Guanxuma	0,06	0,01
<i>Poaceae</i>	<i>Brachiaria plantaginea</i>	Capim-marmelada	3,38	53,34
<i>Poaceae</i>	<i>Cenchrus echinatus</i>	Capim-carrapicho	0,35	0,05
<i>Poaceae</i>	<i>Digitaria horizontalis</i>	Capim-colchão	15,90	9,55
<i>Poaceae</i>	<i>Digitaria insularis</i>	Capim-amargoso	2,23	0,23
<i>Rubiaceae</i>	<i>Richardia brasiliensis</i>	Poaia	2,83	6,32
<i>Solanaceae</i>	<i>Solanum americanum</i>	Maria-preta	0,13	0,20

Ao analisarem o efeito cumulativo da adubação nitrogenada sobre a composição da comunidade de plantas daninhas, Légère, Stevenson e Ziadi (2008), verificaram que não houve efeito significativo do tratamento, mesmo após 12 anos consecutivos de manejo.

Entretanto, em contrapartida, Pyšek e Lepš (1991), ao testarem a utilização contínua de diferentes fertilizantes nitrogenados em doses distintas durante 5 anos, observaram que doses maiores de nitrogênio favoreceram e selecionaram algumas espécies de plantas daninhas, as quais se tornaram predominantes em relação às demais.

Como observado, esses trabalhos avaliaram o efeito cumulativo da adubação nitrogenada, por vários anos. Deste modo, uma vez que, no presente trabalho, os tratamentos foram aplicados apenas por uma safra em cada área experimental, não se pode dizer que seus resultados condizem com os apresentados por Pyšek e Lepš (1991) ou por Légère, Stevenson e Ziadi (2008).

4.3.2.2 Comportamento da Comunidade de Plantas Daninhas em Relação aos Períodos

De modo geral, a densidade de plantas daninhas apresentou um comportamento de pico em relação aos períodos de convívio, cujo ápice ocorreu entre o vigésimo e o trigésimo dia de convívio, em ambos os manejos na média dos anos (Figura 2). Após, houve a redução da densidade populacional das plantas daninhas. Esse comportamento também pode ser observado em Bressanin et al. (2013), Costa et al. (2013), Parreira et al. (2012), Parreira et al. (2014), Salgado et al. (2007) e Webster et al. (2007).

O comportamento da densidade de plantas daninhas em relação aos períodos de convívio observado, deu-se possivelmente devido ao acúmulo de massa seca de plantas daninhas (Figura 3) e de massa seca de parte aérea pela cultura (Figura 4), o que provavelmente intensificou a competição intraespecífica e interespecífica entre os indivíduos e acarretou na morte daqueles mais suscetíveis à competição.

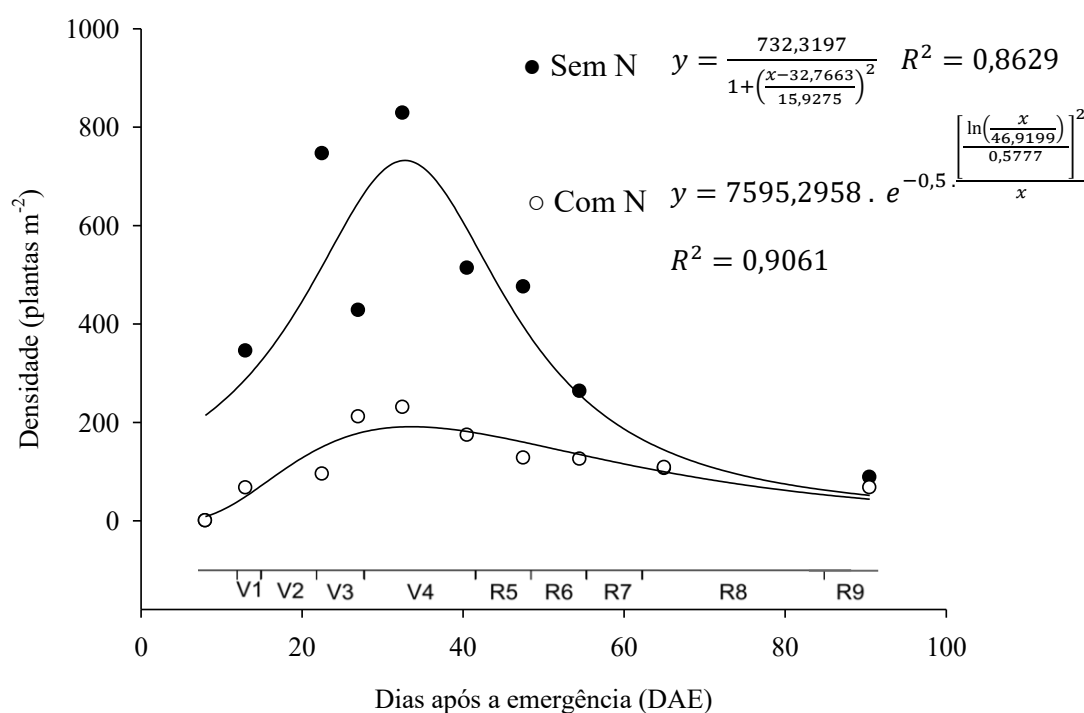


Figura 2. Densidade de plantas daninhas existentes durante o período de desenvolvimento da cultura, para o manejo sem N e com N na média dos anos

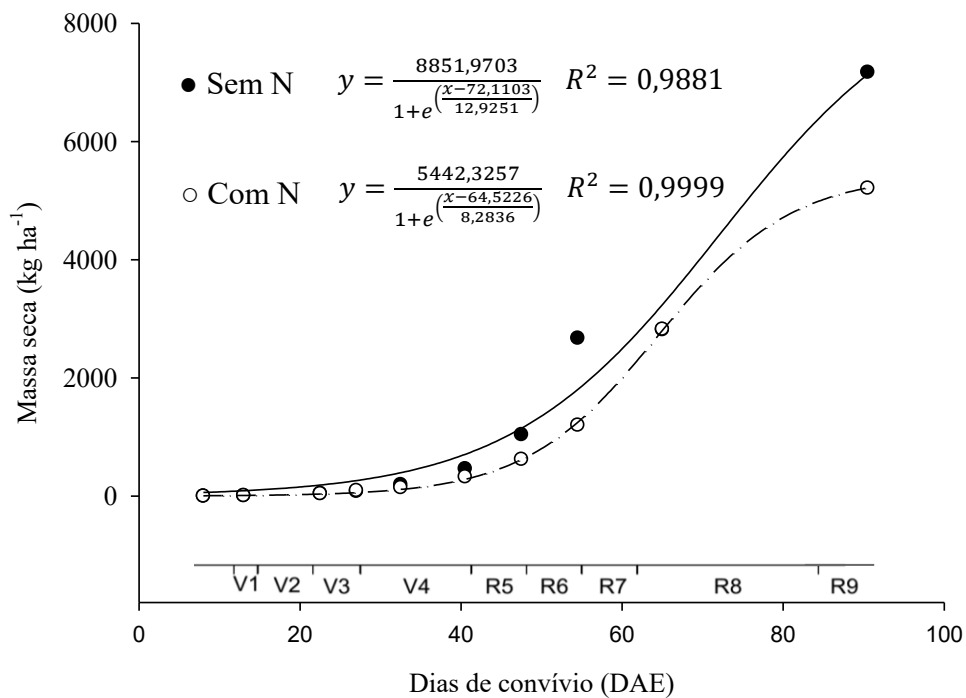


Figura 3. Massa seca das plantas daninhas existentes durante o período de desenvolvimento da cultura, para o manejo sem N e com N na média dos anos

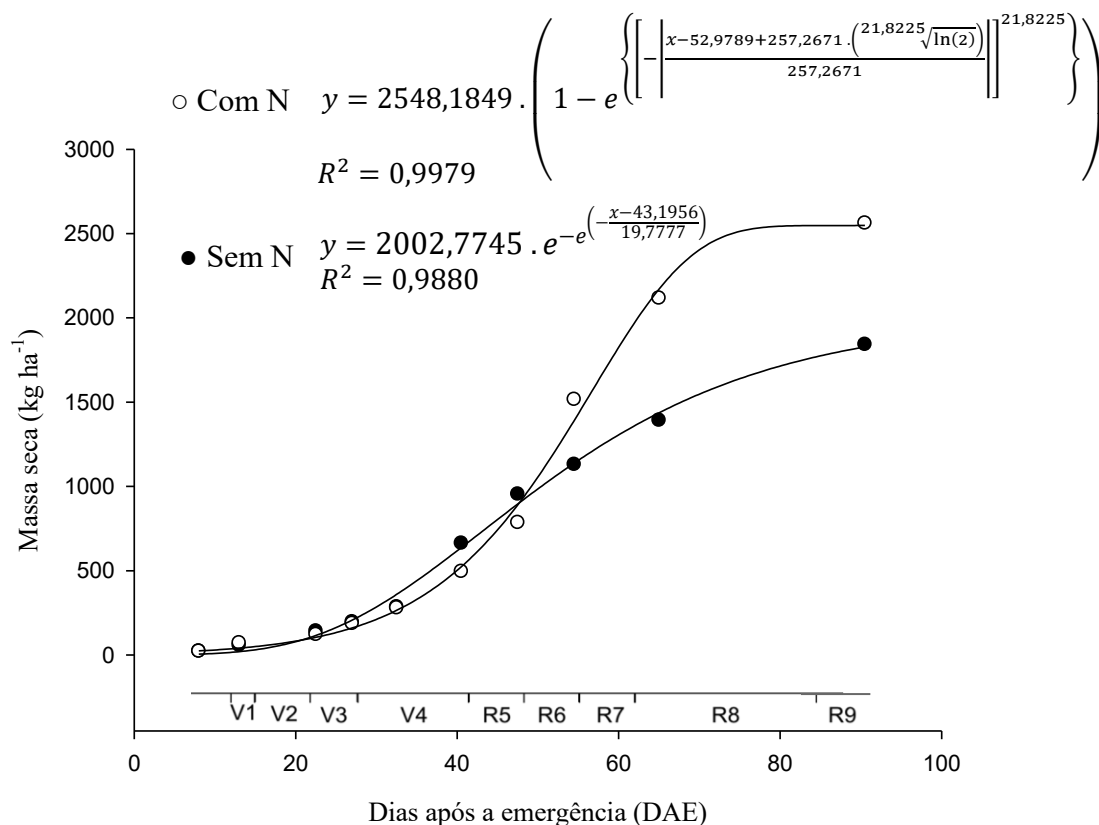


Figura 4. Curva de acúmulo de massa seca da parte aérea da cultura ao longo dos dias após a emergência e estádios fenológicos, para o feijoeiro sem N e com N, livre de matointerferência, na média dos anos

A densidade populacional das plantas daninhas, assim como sua massa seca, sob o manejo sem N foi superior àquela sob o manejo com N durante todo o período de condução do experimento, na média dos anos.

Bressanin et al. (2013), ao avaliarem o efeito da adubação nitrogenada sobre períodos de interferência em feijoeiro, também verificaram um acúmulo inicial de massa seca de plantas daninhas superior no tratamento sem N em relação ao com N. Entretanto, observaram que após os 50 DAE, a massa seca de plantas daninhas no tratamento com N tendeu a superar ao tratamento sem N.

O menor desenvolvimento das plantas daninhas no manejo com N ocorreu provavelmente devido ao maior desenvolvimento da parte aérea da cultura verificado neste manejo. Ahmadvand, Mondani e Golzardi (2009), verificaram que o maior acúmulo de massa seca da parte aérea na cultura da batata correlacionou-se positivamente com a velocidade de fechamento da entrelinha da cultura, e negativamente com o desenvolvimento das plantas daninhas; o que também foi verificado por Balbinot Jr. e Fleck (2005) na cultura do milho.

Tanto o índice de área foliar do feijoeiro como o acúmulo de massa seca na cultura do feijoeiro responde positivamente ao aumento da dose do nitrogênio fornecido à cultura (FRANCO et al., 2008; PROCÓPIO et al., 2004), o que indica que a adubação com fertilizante nitrogenado em cobertura forneceu maior quantidade do nutriente à cultura do que a inoculação com *R. tropici*.

Isso explica-se, pois, apesar da inoculação com *R. tropici* prover grande quantidade de nitrogênio à cultura do feijoeiro, algumas condições edafoclimáticas, como altas temperaturas e a presença de altas populações de bactérias fixadoras nativas no solo, podem prejudicar a simbiose entre a bactéria introduzida no sistema pelo inoculante e a cultura (ARAUJO et al., 2007; HUNGRIA; KASCHUK, 2014; MARTÍNEZ-ROMERO, 2003; PELEGRIN et al., 2009).

Esses argumentos são fortalecidos ao se ponderar que as áreas em que instalou-se os experimentos foram outrora cultivadas com feijoeiro. Vargas, Mendes e Hungria (2000) demonstraram que a eficiência das bactérias diazotróficas pode ser comprometida em solos anteriormente cultivados com feijão sem a inoculação com estirpes selecionadas; pois, nessa condição, ocorre a proliferação das bactérias simbióticas nativas do solo, as quais frequentemente apresentam baixa eficiência na fixação de nitrogênio. Esse fato, ainda segundo

os mesmos autores, faz com que a população nativa se fortaleça e impeça o adequado estabelecimento das bactérias introduzidas pela inoculação, o que lhe reduz a eficiência.

4.3.3 Efeitos do convívio com as plantas daninhas sobre a população final da cultura, a massa de mil grãos e a produtividade

Ao se avaliar o comportamento da população final de plantas da cultura em relação aos períodos crescentes de convívio e os diferentes manejos adotados, verifica-se a ela reduziu linearmente ao progredir dos períodos de convívio (Figura 5). Além disso, a taxa de mortalidade de plantas verificada no manejo sem N foi superior àquela observada no com N, o que implica que a cultura sob o manejo sem N sofreu maior matointerferência, de modo a corroborar com os comportamentos observados nas variáveis densidade de plantas daninhas, massa seca de plantas daninhas e massa seca da parte aérea da cultura.

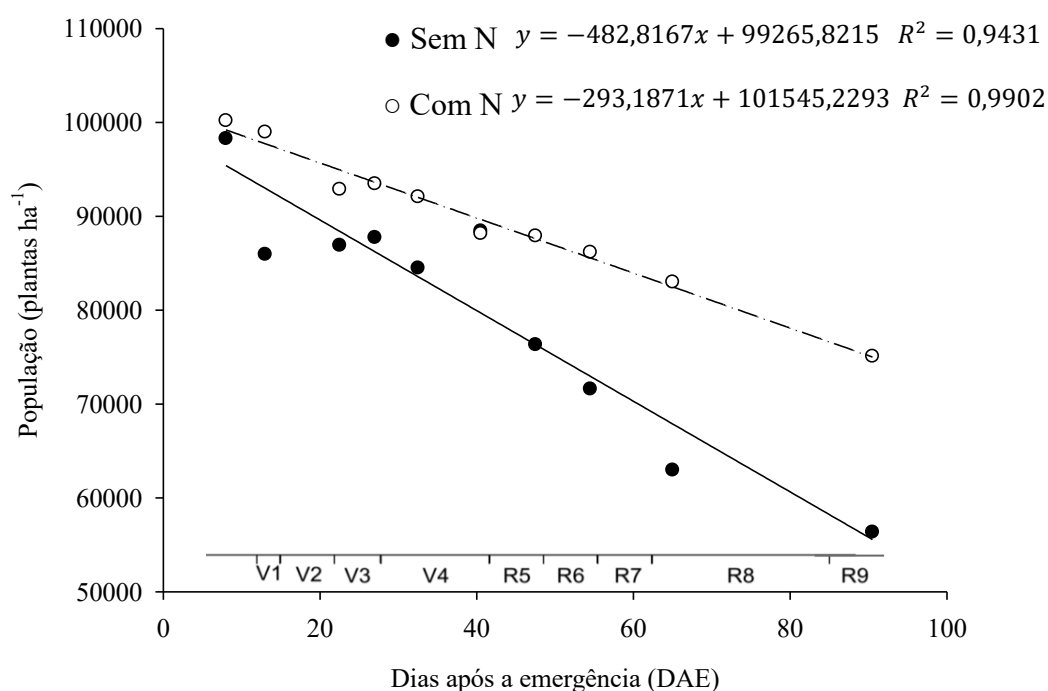


Figura 5. População final da cultura em relação aos períodos crescentes de convívio com as plantas daninhas, em dias após a emergência e estádios fenológicos da cultura, sob o manejo sem N e com N

A massa de mil grãos apresentou-se como a única das variáveis analisadas que não foi afetada pelo fator período ou pela interação entre manejo e período, motivo pela qual não foi submetida à análise de regressão. A variável em questão, também não foi influenciada pelo manejo da adubação nitrogenada; entretanto, diferiu-se significativamente entre os anos: maior no ano de 2014, com 219,91 g, e menor no de 2015, com 211,95 g.

Os dados de produtividade sob a interação entre manejos e períodos ofereceram ajuste altamente significativo ($p < 0,0001$) à equação selecionada, a função de Gauss de 4 parâmetros, cujos coeficientes estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7. Valores dos coeficientes obtidos no ajuste dos dados de produtividade em função dos dias de convívio com as plantas daninhas à função de Gauss, e os coeficientes de determinação (R^2)

Manejo	a	b	x0	y0	R^2
Sem N	1.537,8765	47,4684	14,8379	-126,5709	0,9926**
Com N	568,2791	23,3443	23,9830	883,2408	0,9505**

** $p \leq 0,01$

Ao se analisar o comportamento da produtividade em relação aos períodos de convívio dentro de cada manejo, observa-se que com o passar dos dias houve incremento à produtividade da cultura, até 14,84 e 23,98 DAE, no manejo sem N e com N respectivamente. Após a fase de ganho de produtividade, houve a fase de perda, a qual perdurou até a colheita (Figura 6).

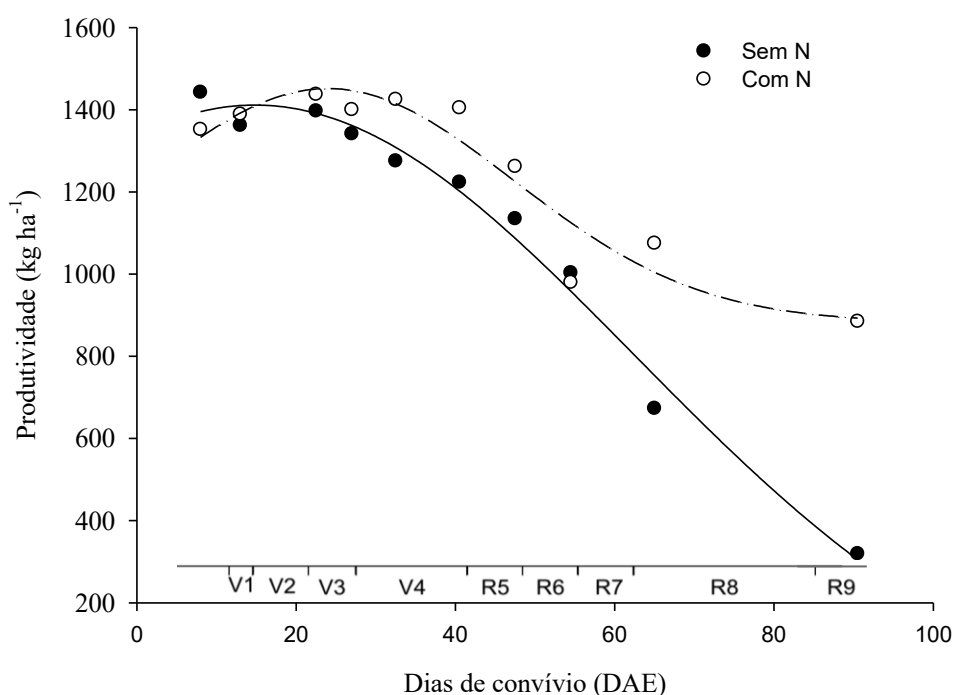


Figura 6. Produtividade da cultura do feijoeiro em função de períodos crescentes de convívio com plantas daninhas, sob dois manejos distintos: sem adubação nitrogenada e inoculado com *R. tropici* (sem N) e com adubação nitrogenada e não inoculado (com N), na média dos anos

O pico de produtividade observado pode ser explicado pela remoção de grande porção da palhada existente sobre o solo que ocorreu ao se capinar as parcelas. Nunes et al. (2006) demonstraram que a presença de palhada sobre o solo proporcionou aumento de produtividade na cultura do feijoeiro, por reduzir a erosão, a perda de umidade do solo e por liberar nutrientes durante a sua decomposição.

Portanto, como o acúmulo de massa seca de plantas daninhas nos primeiros períodos de convívio foi ínfimo, o benefício trazido pela manutenção da palhada superou a perda de produtividade gerada pela matointerferência. Entretanto, com o avançar dos períodos e a decomposição da palhada, os benefícios de sua manutenção reduziram, enquanto que os danos gerados pela matointerferência aumentaram. Assim, devido a fase inicial de ganho de produtividade pela manutenção da palhada, seguida pelo ponto de equalização dos benefícios (palhada) e danos (matointerferência) e, após, a fase de perda, devido aos danos superarem os benefícios, ocorreu o pico de produtividade.

No manejo sem N a fase de ganho foi menos intensa e mais curta do que no com N, o que resultou numa produtividade máxima inferior, apesar do manejo sem N ter proporcionado produtividade superior ao com N aos 0 DAE de convívio. A partir de então, a diferença de produtividade entre os manejos foi ampliada. Pois, na fase de perda, o declínio da produtividade foi menos intenso no manejo com N que no sem N. Concomitantemente, no manejo com N a produtividade tendeu à estabilidade a partir do sexagésimo dia de convívio, enquanto no manejo sem N a tendência de queda da produtividade se manteve até a colheita.

O fornecimento de nitrogênio no estágio de V_4 , no manejo com N, pode ter evitado um eventual déficit devido a mineralização do nutriente durante a decomposição da palhada (SILVA et al., 2006), o que se apresenta como uma explicação para o fato de a fase de ganho ter sido mais duradoura e aguda neste manejo.

Como o intuito do estudo foi avaliar o efeito dos fatores manejo da adubação nitrogenada e período de convívio sobre a produtividade da cultura, buscou-se correlacionar o comportamento da variável produtividade com o das variáveis densidade de plantas daninhas e massa seca de plantas daninhas (MSPD). Para tanto, submeteu-se os resultados das variáveis supracitadas ao teste de correlação (Tabela 8) e, posteriormente, à análise de trilha de uma cadeia, com a variável produtividade como principal (Figura 7).

Tabela 8. Correlações entre as variáveis produtividade da cultura (Produtividade), população final da cultura (População), massa seca de plantas daninhas (MSPD) e densidade de plantas daninhas (Densidade PD)

	Produtividade	População	MSPD	Densidade PD
Produtividade	1,000	0,955	-0,972	0,431
População	0,955	1,000	-0,915	0,174
MSPD	-0,972	-0,915	1,000	-0,460
Densidade PD	0,431	0,174	-0,460	1,000

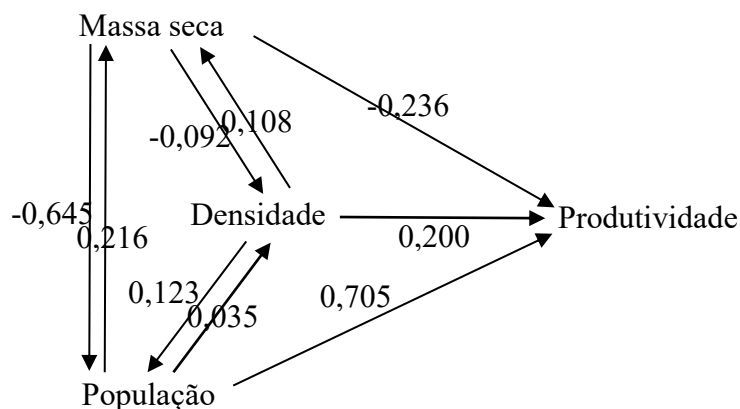


Figura 7. Esquema das correlações diretas e indiretas das variáveis população final da cultura, massa seca de plantas daninhas e densidade de plantas daninhas em relação à variável produtividade da cultura, determinadas por meio de análise de trilha

Verificou-se alta correlação entre a população final da cultura e a produtividade (0,955), principalmente devido ao efeito direto (0,705). Ademais, foi verificado que a população final de plantas interferiu indiretamente na produtividade, em menor quantidade, devido a influência negativa gerada por esta via massa seca de plantas daninhas (0,216). O efeito indireto via densidade de plantas daninhas foi praticamente desprezível (0,035), compreensível, uma vez que a correlação entre ambas as variáveis foi de apenas 0,174.

Observou-se, também, que a variável MSPD apresentou alto coeficiente de correlação negativo com a produtividade (-0,972), principalmente pelo efeito indireto gerado ao reduzir a população final de plantas da cultura (-0,645) e, de modo menos acentuado, pelo seu efeito direto (-0,236). O efeito indireto via densidade de plantas daninhas foi baixo, devido à baixa correlação entre as variáveis (-0,460).

A variável densidade de plantas daninhas pouco explicou a produtividade da cultura (0,431), principalmente devido ao seu comportamento não-linear, como pode ser verificado na figura 2. A baixa correlação entre a variável densidade de plantas daninhas e a produtividade explica o pequeno efeito indireto gerado pelas outras variáveis por meio desta.

Deste modo, pode-se concluir que, pelos resultados obtidos por meio do teste de correlação e análise de trilha, as variáveis população final da cultura e MSPD foram as que melhor explicaram o comportamento observado da produtividade da cultura em relação aos períodos crescentes de convívio.

Entretanto, como a densidade de semeadura foi constante entre os tratamentos, a população final da cultura não pode ser considerada como um fator de interferência sobre a produtividade da cultura, mas sim como um resultado da matointerferência, o qual explica o efeito acarretado sobre a produtividade.

Ao se analisar o efeito da MSPD sobre a população final de plantas (Figura 8), verificou-se que o aumento da MSPD provocou uma acentuada redução na população final da cultura, sobretudo no início do acúmulo de MSPD. Observou-se também que a população foi menos afetada pela MSPD quando o feijoeiro esteve sob o manejo com N.

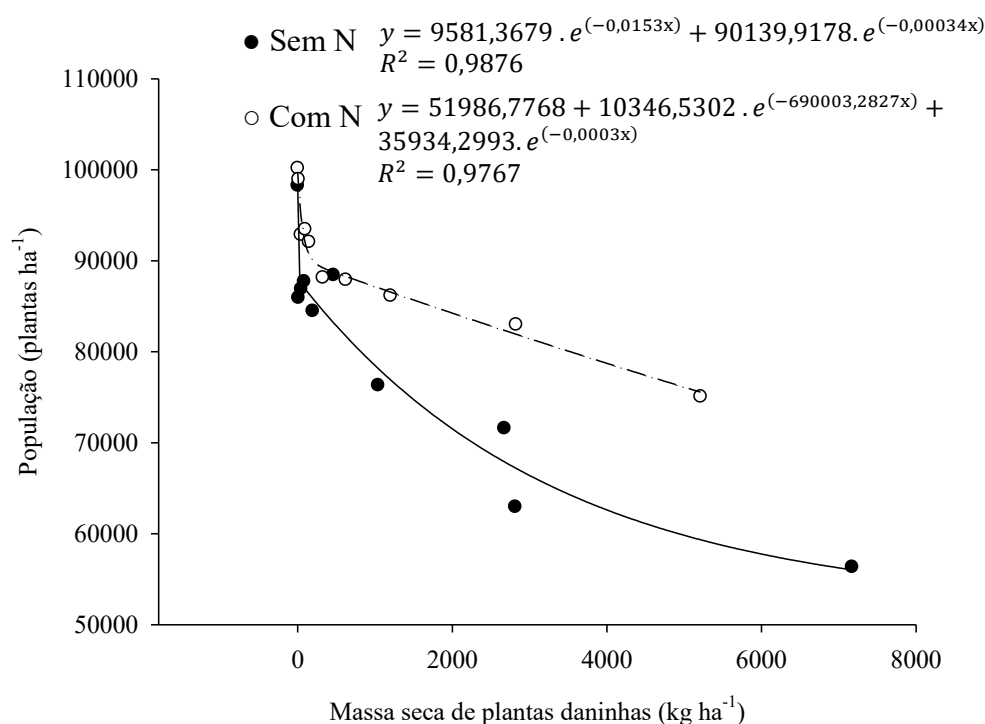


Figura 8. População final da cultura do feijoeiro em relação à massa seca de plantas daninhas existente ao final do período de convívio, sob o manejo sem N e com N, na média dos anos

Semelhantemente, verificou-se que a produtividade foi reduzida na medida que a MSPD aumentou (Figura 9). Além disso, como a população final de plantas, a produtividade também foi menos afetada pela MSPD no manejo com N que no sem N, o que indica que no manejo sem N houve menor disponibilidade do nutriente do que no com N, o que acarretou numa competição mais intensa entre a cultura e as plantas daninhas e resultou em uma menor absorção do nutriente e, assim, menor desenvolvimento da cultura.

Essa hipótese se reforça ao se considerar a curva de acúmulo de massa seca da parte aérea da cultura (Figura 4), a qual demonstra o maior desenvolvimento da cultura sob o manejo com N. Pois, como evidenciado por Kabba, Knight e Van Rees (2011), o aumento da dose de nitrogênio reduz a competição entre a cultura e as plantas daninhas pelo nutriente, o que permite maior absorção desse pela cultura e, deste modo, seu maior desenvolvimento.

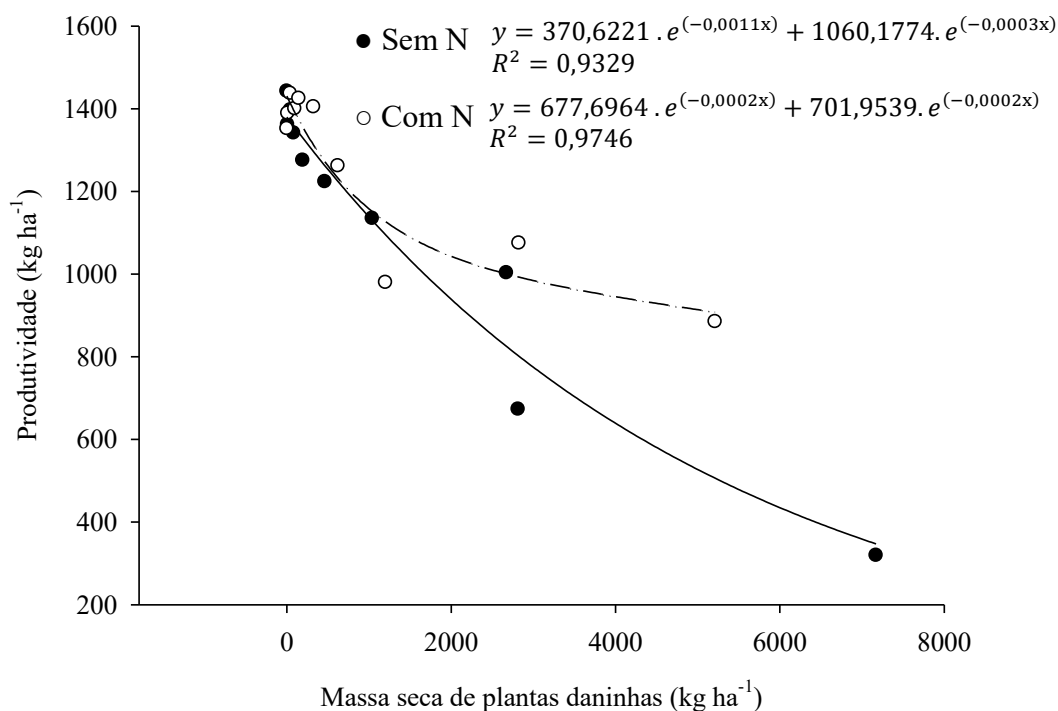


Figura 9. Produtividade da cultura do feijoeiro em relação à massa seca de plantas daninhas acumulada ao final do período de convívio, sob os manejos sem N e com N, na média dos anos

Outro fato relevante, foi o menor acúmulo de MSPD no manejo com N, em relação ao sem N, o que se explica pelo maior desenvolvimento da parte aérea da cultura verificado no manejo com N e, conseqüentemente, maior capacidade competitiva da cultura e maior velocidade de fechamento das entrelinhas. Evans et al. (2003) também ressaltaram que o principal benefício da aplicação do nitrogênio foi o aumento na capacidade competitiva do milho em relação às plantas daninhas.

Em resumo, verificou-se que a adubação nitrogenada (manejo com N) propiciou maior desenvolvimento, competitividade e tolerância à matointerferência à cultura, em relação à inoculação (manejo sem N). Em decorrência disso, o feijoeiro sob o manejo com N demonstrou-se mais produtivo e apresentou menor perda de produtividade devido ao convívio com as plantas daninhas.

4.3.4 Efeito dos manejos sobre o Período Anterior à Interferência (PAI)

O período anterior à interferência (PAI) foi calculado por meio dos coeficientes obtidos na análise de regressão (Tabela 7) e das equações dispostas por Franciscon et al.³, para ambos os manejos. A perda tolerada admitida no cálculo do PAI foi determinado com base em fatores econômicos, proposto por Vidal, Fleck e Merotto Júnior (2005), e incorporados ao método integral por Franciscon et al.³.

Os menores valores de PAI foram encontrados, obviamente, no quadro econômico com o menor custo de controle (25 R\$ ha⁻¹) e maior valor do produto (8,33 R\$ kg⁻¹). O PAI, para este cenário em questão, na média dos anos, foi de 17,80 DAE no manejo sem N e 26,38 DAE no com N (Figura 10). Por outro lado, os maiores valores de PAI foram obtidos no quadro econômico com custo de controle de 300 R\$ ha⁻¹ e valor do produto de 0,83 R\$ kg⁻¹. Esses valores foram de 49,51 DAE nos manejos sem N e de 57,06 DAE no com N, na média dos anos.

De modo geral, o PAI foi mais longo no manejo com N do que no sem N. Bressanin et al. (2013), ao compararem o efeito da adubação nitrogenado sobre o PAI em feijoeiro cv. Rubi, tipo carioca, também observaram que a adubação nitrogenada em cobertura promoveu o alongamento do PAI em 20 dias, em relação à testemunha.

A diferença entre os valores de PAI observados neste trabalho e no de Bressanin et al. (2013), se deve principalmente ao critério utilizado para se determinar a perda tolerada de produtividade. Enquanto que neste trabalho foi utilizado o fator econômico para a determinação da perda tolerada, Bressanin et al. (2013) utilizaram a perda tolerada arbitrária de 5%. Deste modo, esses autores admitiram perdas de produtividade na ordem de 164,80 e 177,15 kg ha⁻¹, valores 42,13% a 169,58% inferiores ao adotados no presente estudo.

Evans et al. (2003), ao estudarem o efeito de dose de nitrogênio sobre o período crítico de controle das plantas daninhas (PCPI), observaram que quanto maior a dose de N aplicado sobre a cultura, menor foi o PCPI e maior a produtividade, principalmente devido ao alongamento do PAI.

³ Franciscon et al. Método integral: unificação dos métodos de determinação de períodos de convívio e de controle das plantas daninhas. *Em fase de elaboração.*

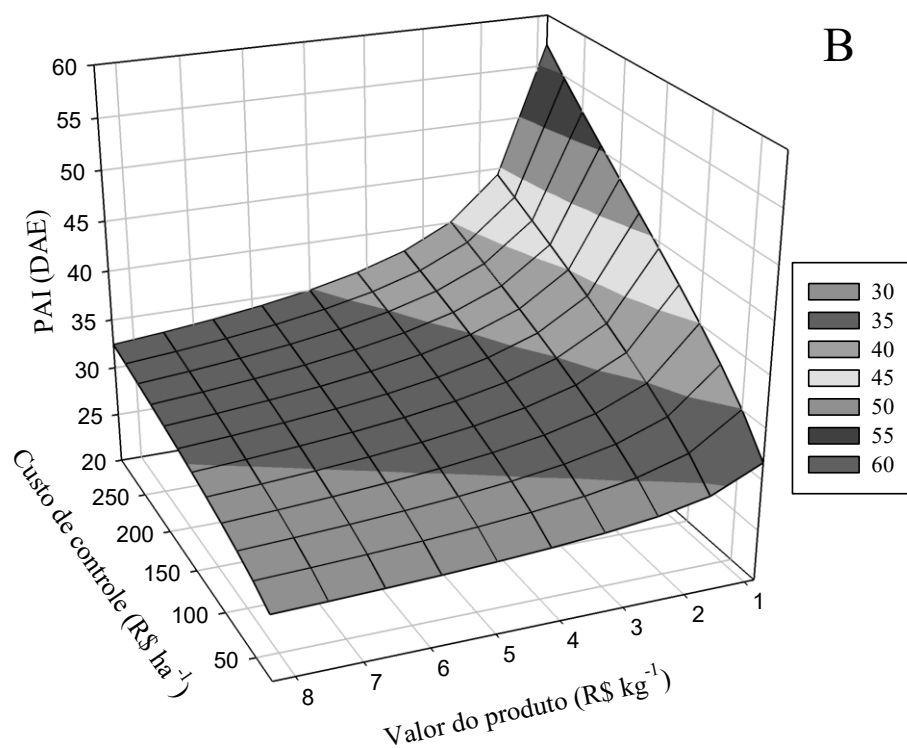
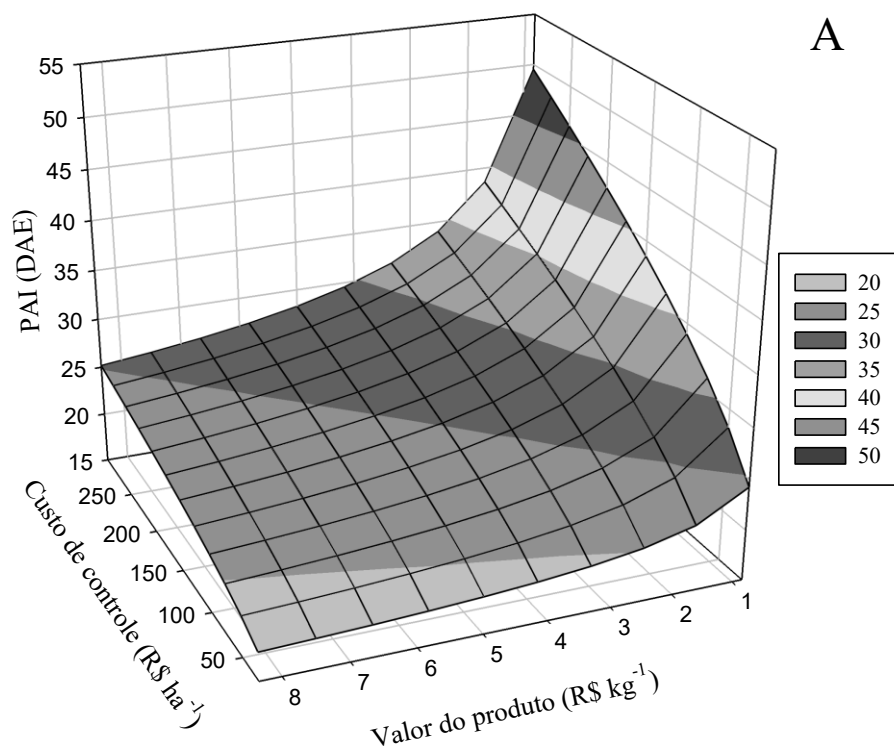


Figura 10. Comportamento do período anterior à interferência (PAI) em relação a variações no custo de controle e valor do produto, para feijoeiro sob dois diferentes manejos da adubação nitrogenada, sem N (A) e com N (B)

Deste modo, ao se analisar a possibilidade da substituição da adubação nitrogenada pela inoculação na cultura do feijoeiro, pode-se concluir que tal prática demonstrou-se desvantajosa em relação ao aumento da capacidade da cultura em competir com as plantas daninhas, por mais que seja passível de proporcionar produtividades tão altas quanto as proporcionadas pela adubação com fertilizantes nitrogenados sob condições ambientais adequadas.

Conseqüentemente, o uso da prática da inoculação deve ser avaliado criteriosamente, pois, pode demandar maior número de intervenções sobre a comunidade de plantas daninhas. Por outro lado, a inoculação pode resultar numa economia substancial, ao substituir o uso dos fertilizantes nitrogenados. Neste caso, a tomada de decisão deverá levar em conta o nível tecnológico adotado pelo produtor, a produtividade almejada, o custo de controle das plantas daninhas e o valor do produto.

4.4 CONCLUSÕES

A substituição da adubação nitrogenada em cobertura pela inoculação com *Rhizobium tropici* não aumentou a capacidade da cultura em competir com as plantas daninhas, a qual foi proporcionada pelo uso da adubação nitrogenada em cobertura.

No cenário econômico com o menor custo de controle (25 R\$ ha⁻¹) e maior valor do produto (8,33 R\$ kg⁻¹), na média dos anos, o PAI foi de 17,80 DAE nos manejos sem N e 26,38 DAE no com N. No quadro econômico com custo de controle de 300 R\$ ha⁻¹ e valor do produto de 0,83 R\$ kg⁻¹, os valores de PAI foram de 49,51 DAE nos manejos sem N e de 57,06 DAE no com N, na média dos anos.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINETTO, D. et al. Período crítico de competição de plantas daninhas com a cultura do trigo. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 271–278, 2008.

AGROLINK. **Histórico de cotações**. 2016. Disponível em: <<http://www.agrolink.com.br/cotacoes/Historico.aspx?e=9839&p=1772&l=13142>> Acesso em: 15 out. 2016.

AHMADVAND, G.; MONDANI, F.; GOLZARDI, F. Effect of crop plant density on critical period of weed competition in potato. **Scientia Horticulturae**, v. 121, n. 3, p. 249–254, 2009.

ARAUJO, F.F. et al. Fixação biológica de N₂ no feijoeiro submetido a dosagens de inoculante e tratamento químico na semente comparado à adubação nitrogenada. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 4, p. 535–540, 2007.

BALBINOT JR., A.A.; FLECK, N.G. Manejo de plantas daninhas na cultura de milho em função do arranjo espacial de plantas e características dos genótipos. **Ciência Rural**, v. 35, n. 1, p. 245–252, 2005.

BLACKSHAW, R.E. et al. Differential response of weed species to added nitrogen. **Weed Science**, v. 51, n. 4, p. 532–539, 2003.

BLACKSHAW, R.E.; BRANDT, R.N. Nitrogen Fertilizer Rate Effects on Weed Competitiveness is Species Dependent. **Weed Science**, v. 56, n. 5, p. 743–747, 2008.

BRESSANIN, F.N. et al. Influência da adubação nitrogenada sobre a interferência de plantas daninhas em feijoeiro. **Revista Ceres**, v. 60, n. 1, p. 43–52, 2013.

COSENTINO, R.M.A. **Modelo empírico de depreciação para tratores agrícolas de rodas**. 2004. 80 f. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. 2004.

COSTA, N.V. et al. Weed interference periods in the “Fécua Branca” cassava. **Planta Daninha**, v. 31, n. 3, p. 533–542, 2013.

DERAL. **Preços pagos pelo produtor**. 2016. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/ppp.xls>> Acesso em: 01 set. 2016.

EVANS, S.P. et al. Nitrogen application influences the critical period for weed control in corn. **Weed Science**, v. 51, n. 3, p. 408–417, 2003.

FERNÁNDEZ, F.C.; GEPTS, P.; LÓPEZ, M. Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). In: LÓPEZ, M.; FERNÁNDEZ, F.; SCHOONHOVEN, A. VAN (Eds.). **Frijol: investigación y producción**. 1. ed. Cali, Colômbia: CIAT, PNUD, 1985. p. 61–78.

FERREIRA, D.F. SISVAR: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109 – 112, 2014.

FRANCO, E. et al. Resposta do feijoeiro à aplicação de nitrogênio na semeadura e cobertura no sistema plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 3, p. 8–17, 2008.

HUNGRIA, M.; KASCHUK, G. Regulation of N₂ fixation and NO³⁻/NH⁴⁺ assimilation in nodulated and N-fertilized *Phaseolus vulgaris* L. exposed to high temperature stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 98, n. 3, p. 32–39, 2014.

KABBA, B.S.; KNIGHT, J.D.; VAN REES, K.C.J. Modeling nitrogen uptake for hybrid poplar with and without weed competition. **Forest Ecology and Management**, v. 262, n. 2, p. 131–138, 2011.

LÉGÈRE, A.; STEVENSON, F.C.; ZIADI, N. Contrasting Responses of Weed Communities and Crops to 12 Years of tillage and Fertilization Treatments. **Weed Technology**, v. 22, n. 2, p. 309–317, 2008.

MARTÍNEZ-ROMERO, E. Diversity of *Rhizobium-Phaseolus vulgaris* symbiosis: Overview and perspectives. **Plant and Soil**, v. 252, n. 1, p. 11–23, 2003.

NUNES, U.R. et al. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6, p. 943–948, 2006.

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**, v. 32, n. 4, p. 727–738, 2014.

PARREIRA, M.C. et al. Modeling of weeds interference periods in bean. **Planta Daninha**, v. 30, n. 4, p. 713–720, 2012.

PELEGRIN, R.D. et al. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 219–226, 2009.

PIACENTINI, L. et al. Software para estimativa do custo operacional de máquinas agrícolas - MAQCONTROL. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 3, p. 609–623, 2012.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15^a ed. Piracicaba, SP: ESALQ-USP. 2009. 451 p.

PLACE, G., BOWMAN, D., BURTON, M.; RUFTY, T. Root penetration through a high bulk density soil layer: differential response of a crop and weed species. **Plant and Soil**, v. 307, n. 1–2, p. 179–190, 2008.

PROCÓPIO, S.O. et al. Absorção e utilização do nitrogênio pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 22, n. 3, p. 365–374, 2004.

PYŠEK, P.; LEPSŠ, J. Response of a Weed Community to Nitrogen Fertilization a Multivariate Analysis. **Journal of Vegetation Science**, v. 2, n. 2, p. 237–244, 1991.

REIS JÚNIOR, F.B.; MENDES, I.C.; REIS, V.M.; HUNGRIA, M. Fixação biológica de nitrogênio: uma revolução na agricultura. IN: FALEIRO, F.G.; ANDRADE, S.R.M.; REIS JÚNIOR, F.B. (Ed.) **Biotechnologia: estado da arte e aplicações na agricultura**, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 2011. p. 247–281.

RONCHI, C.P.; TERRA, A.A.; SILVA, A.A. Growth and nutrient concentration in coffee root system under weed species competition. **Planta Daninha**, v. 25, n. 4, p. 679–687, 2007.

ROSOLEM, C.A.; MARUBAYASHI, O.M. Seja o doutor do seu feijoeiro. **Informações Agronômicas**, n. 68, p. 1–16, 1994.

SALGADO, T.P. et al. Interferência das plantas daninhas no feijoeiro carioca. **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 443–448, 2007.

SANTOS, H.G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 4^a ed. Brasília, DF: Embrapa. 2014. 353 p.

SEAB. **Agrotóxicos no Paraná**. 2016. Disponível em: <<http://celepar07web.pr.gov.br/agrotoxicos/>> Acesso em: 10 out. 2016.

SILVA, O.F. da. **O feijão de inverno: Aspectos econômicos da cultura em Goiás**. 1. ed. Goiânia-GO: Embrapa Arroz e Feijão, 1995.

SILVA, P.R.F. da et al. Estratégias de manejo de coberturas de solo no inverno para cultivo do milho em sucessão no sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 1011–1020, 2006.

SWANTON, C.J. et al. Integrated Weed Management: Knowledge-Based Weed Management Systems. **Weed Science**, v. 56, n. 1, p. 168–172, 2008.

VARGAS, M.A.T.; MENDES, I.C.; HUNGRIA, M. Response of field-grown bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to *Rhizobium* inoculation and nitrogen fertilization in two Cerrados soils. **Biology and Fertility of Soils**, v. 32, n. 3, p. 228–233, 2000.

VIDAL, R.A.; FLECK, N.G.; MEROTTO JR., A. Período anterior ao dano no rendimento econômico (PADRE): nova abordagem sobre os períodos de interferência entre plantas daninhas e cultivadas. **Planta Daninha**, v. 23, n. 3, p. 387–396, 2005.

WEBSTER, T.M. et al. The critical period of Bengal dayflower (*Commelina Bengalensis*) control in peanut. **Weed Science**, v. 55, n. 4, p. 359–364, 2007.

WIETHÖLTER, S. (COORD.) **Manual de Adubação e de Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10^a ed. Porto Alegre, RS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2004. 401 p.

5 CONCLUSÕES GERAIS

A metodologia desenvolvida neste estudo, o método integral, foi capaz de calcular períodos de interferência com base em critérios econômicos com precisão e praticidade.

A substituição da adubação nitrogenada em cobertura pela inoculação com *Rhizobium tropici* não aumentou a capacidade da cultura em competir com as plantas daninhas.

O aumento da capacidade competitiva foi proporcionado pelo uso da adubação nitrogenada em cobertura, a qual alongou o PAI.

No cenário econômico com o menor custo de controle (25 R\$ ha⁻¹) e maior valor do produto (8,33 R\$ kg⁻¹), os valores de PAI foram de 17,80 e 26,38 DAE, nos manejos sem N e com N respectivamente, na média dos anos.

No quadro econômico com custo de controle de 300 R\$ ha⁻¹ e valor do produto de 0,83 R\$ kg⁻¹, os valores de PAI foram de 49,51 e 57,06 DAE, nos manejos sem N e com N respectivamente, na média dos anos.