

Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics

Modelagem Matemática Da Produtividade De Grãos E Acamamento Da Aveia Com Uso De Regulador De Crescimento

Anderson Marolli¹

Rubia Diana Mantai²

Osmar Brunelau Scremin³

Ângela Teresinha Woschinski de Mammann⁴

Ari Higino Scremin⁵

Ana Paula Brezolin⁶

Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, UNIJUÍ, Ijuí, RS

José Antonio Gonzalez da Silva⁷

Departamento de Ciências Agrárias, UNIJUÍ, Ijuí, RS

Resumo. O uso do regulador de crescimento em aveia pode reduzir o acamamento de plantas sem reflexos na produtividade de grãos. O objetivo do estudo é a modelagem matemática da aveia para determinar a viabilidade e a eficiência do uso do regulador de crescimento trinexapac-ethyl, no sentido da manutenção da produtividade de grão e redução do acamamento de plantas, em diferentes condições de uso de N-fertilizante. O estudo foi conduzido nos anos de 2011, 2012 e 2013, voltado para a estimativa da produtividade de grãos e acamamento. No experimento, o delineamento foi de blocos ao acaso com quatro repetições em um esquema fatorial 4x3 para doses de regulador de crescimento (0, 200, 400 e 600 mL ha⁻¹) e doses de N-fertilizante (30, 90 e 150 kg ha⁻¹), respectivamente. Independente do ano agrícola, a tecnologia do uso do regulador de crescimento se mostra eficiente na redução do acamamento de plantas de aveia e manutenção da produtividade de seus grãos. Em condição reduzida, alta e muito alta de N-fertilizante, a dose ideal de regulador de crescimento é de 495 mL ha⁻¹, tal dose reporta em uma estimativa de acamamento inferior a 5% com produtividade de grãos aproximada de 3790 kg ha⁻¹, ou seja, sem prejuízos à produtividade de grãos. A tecnologia do uso do regulador de crescimento se mostra eficiente na redução do acamamento de plantas de aveia e manutenção da produtividade de seus grãos.

Palavras-chave. *Avena Sativa*, Trinexapac-Ethyl, Acamamento, Nitrogênio, Regressão

¹marollia@yahoo.com.br

²rdmantai@yahoo.com.br

³osmarscremin@hotmail.com

⁴angelademamann@hotmail.com

⁵ahscremin@hotmail.com

⁶anabrezolin@hotmail.com

⁷jagsfaem@yahoo.com.br

1 Introdução

A aveia é uma cultura alternativa de inverno, utilizada na cobertura e proteção do solo, por produzir palha de qualidade, e na alimentação humana e animal, pelo alto valor nutricional e funcional de seus grãos [8, 11].

A alta produtividade de grãos de aveia depende de um conjunto de fatores, como tecnologias de cultivo, manejo, clima e solo [3, 7]. Além disso, o ajuste de genótipos mais produtivos e responsivos a adubação nitrogenada é decisivo no aumento da produtividade de grãos [2, 12]. A adubação com N-fertilizante se faz necessária pela quantidade insuficiente liberada pelo solo e por ser o nutriente mais absorvido durante o ciclo de desenvolvimento dos cereais [4, 8]. Em contra ponto, o incremento excessivo de N-fertilizante junto a condições climáticas favoráveis, aumenta o crescimento vegetativo da planta, facilitando a ocorrência do acamamento [6].

O acamamento é uma característica preocupante em relação a produtividade de aveia, é o acidente no qual a planta perde sua posição vertical, inclina-se e cai sobre o solo, afetando diretamente a produtividade e a qualidade de grãos, trazendo dificuldades na colheita [8, 11]. É uma característica que envolve a interação de inúmeros fatores, como clima, solo, densidade de plantas, resistência genética e técnicas de manejo [12, 13]. Uma alternativa adotada em gramíneas como arroz [1] e trigo [10], está o uso de reguladores de crescimento, que regula o desenvolvimento do colmo reduzindo o alongamento dos entrenós e consequentemente, a altura das plantas [8].

A modelagem matemática do uso de regulador de crescimento na aveia e seus efeitos na produtividade de grãos e redução do acamamento, podem viabilizar o emprego desta tecnologia nos sistemas de produção de aveia do sul do Brasil. O objetivo do estudo é a modelagem matemática da aveia para determinar a viabilidade e a eficiência técnica do uso do regulador de crescimento trinexapac-ethyl, no sentido da manutenção da produtividade de grão e redução do acamamento de plantas, em diferentes condições de uso de N-fertilizante.

2 Materiais e Métodos

O trabalho foi desenvolvido a campo nos anos agrícolas de 2011, 2012 e 2013, na área experimental do Instituto Regional de Desenvolvimento Rural (IRDeR) pertencente ao Departamento de Estudos Agrários (DEAg) da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ) no município de Augusto Pestana, RS, Brasil. A semeadura foi realizada sobre a cobertura vegetal de reduzida relação C/N (sistema soja/aveia), entre as datas de 15 de maio e 30 de junho com semeadora-adubadora, as parcelas foram constituídas de 5 linhas, 5 m de comprimento e espaçamento de 0,20 m, totalizando uma unidade experimental de 5 m². Foram aplicados, na semeadura, 60 e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O, respectivamente, com base nos teores de P e K no solo para expectativa de rendimento de grãos de 3 t ha⁻¹ e de N na base com 10 kg ha⁻¹, sendo o restante para contemplar as doses propostas em cobertura no estádio indicado de quarta folha expandida. As sementes foram submetidas ao teste de germinação e vigor em laboratório a fim de corrigir a densidade desejada de 300 sementes viáveis m⁻².

Durante a execução do estudo foram efetuadas aplicações do fungicida tebuconazole de nome comercial FOLICUR® CE na dosagem de $0,75 \text{ L ha}^{-1}$. O controle de plantas daninhas foi efetuado com herbicida metsulfuron-metil de nome comercial ALLY® na dose de 4 g ha^{-1} e capinas adicionais sempre que necessário. O regulador de crescimento (trinexapac-ethyl) foi aplicado com pulverizador costal à pressão constante de 30 lb pol^{-2} , com pontas de jato plano “leque”, no estádio entre o 1º e o 2º nó visível do colmo da aveia. O estudo visou exclusivamente à estimativa da produtividade de grãos e acamamento de plantas. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, seguindo um esquema fatorial 4×3 nas fontes de variação doses de regulador de crescimento (0, 200, 400 e 600 mL ha^{-1}) e doses de N-fertilizante (30, 90 e 150 kg ha^{-1}) (fonte ureia), respectivamente. A colheita dos experimentos ocorreu de forma manual pelo corte das três linhas centrais de cada parcela. O momento de colheita foi definido com umidade de grãos ao redor de 15%. Em seguida, as parcelas foram trilhadas com colheitadeira estacionária e direcionadas ao laboratório para correção da umidade de grãos para 13% e pesagem, para a estimativa da produtividade de grãos em hectare. O acamamento (AC) foi estimado visualmente e expresso em porcentagem, tendo-se considerado o ângulo formado na posição vertical do colmo das plantas em relação ao solo e a área de plantas acamadas. Para essa estimativa, utilizou-se a metodologia sugerida por [9]. Ao atender aos pressupostos de homogeneidade e normalidade via testes de Bartlett, foi realizada análise de variância para detecção dos efeitos principais e de interação. Com base nessas informações procedeu-se ao ajuste da equação de grau dois para estimativa da dose ideal de uso do regulador por $x = -[(b_1)/(2b_2)]$ à produtividade de grãos e o acamamento de plantas, nas diferentes condições de uso de N-fertilizante. Para equações com comportamento linear foi considerado a possibilidade de acamamento de plantas de no máximo 5%, aonde foi obtida a dose ideal de regulador por $x = [(Y - b_0)/(\pm b_1)]$. Para estas determinações, foi empregado o programa computacional Genes [5].

3 Resultados e Discussões

Na Tabela 1, da análise de variância de regressão e parâmetros na estimativa da dose ideal de regulador sobre aplicação de 30 kg ha^{-1} de N-fertilizante, as equações de grau dois se mostraram mais efetiva em explicar o comportamento das doses de regulador à produtividade de grãos, independente de ano. No ano de 2011 e 2013, foi obtida a dose de 290 mL ha^{-1} , com estimativa de produtividade de 3786 e 4283 kg ha^{-1} , respectivamente. Para o ano de 2012, a dose de 156 mL ha^{-1} reportou a estimativa de produtividade de 3051 kg ha^{-1} . Estas doses, não refletem simultaneamente produtividade de grãos e redução do acamamento de plantas. Para o ano de 2011, a equação de grau dois nos reporta a uma dose ideal do regulador de crescimento de 450 mL ha^{-1} , tal dose, simula acamamento aproximado de 2%. Nas condições em que o aumento da dose do regulador de crescimento mostrou comportamento linear, a simulação da dose ideal de regulador apresentou variações no intervalo de 475 e 495 mL ha^{-1} . De modo geral, independente de ano, a dose ideal de 475 mL ha^{-1} de regulador de crescimento mostrou-se efetiva na redução do acamamento de plantas, sem reflexos negativos à produtividade de grãos.

Tabela 1: Regressão e seus parâmetros na estimativa da dose ideal de regulador de crescimento para o caráter produtividade de grãos e acamamento sobre aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N-fertilizante

| N fertilizante (kg ha ⁻¹) | Equação $Y = a \pm bx \pm cx^2$ | R ² | P (b _{ix}) | Dose ideal (mL ha ⁻¹) | Y _E (kg ha ⁻¹) (%) |
|---------------------------------------|---|----------------|----------------------|-----------------------------------|---|
| 2011 | | | | | |
| 30 | $PG = 3447 + 2,33x - 4.10^{-3}x^2$ | 0,78 | * | 290 | 3786 |
| | $AC = 28,3625 - 0,12x + 1,3.10^{-4}x^2$ | 0,99 | * | 450 | 2 |
| 2012 | | | | | |
| 30 | $PG = 2978 + 0,94x - 3.10^{-3}x^2$ | 0,86 | * | 156 | 3051 |
| | $AC = 29,625 - 0,05x$ | 0,92 | * | 495 | (5) |
| 2013 | | | | | |
| 30 | $PG = 3947 + 2,32x - 4.10^{-3}x^2$ | 0,99 | * | 290 | 4283 |
| | $AC = 22,52 - 0,037x$ | 0,89 | * | 475 | (5) |
| x_{PG} | - | - | - | 245 | 3706 |
| x_{AC} | - | - | - | 475 | 4 |

*=Significativo a nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F; P(b_{ix})= parâmetro que mede a inclinação da reta; R²= coeficiente de determinação; () = consideração da possibilidade de acamamento de no máximo 5%; Y_E = valor estimado.

Na Tabela 2, comportamento similar a dose reduzida de N-fertilizante para produtividade de grãos foi percebida. O ano de 2013 apresentou a dose mais elevada de regulador de crescimento (350 mL ha⁻¹), com estimativa de produção de 4283 kg ha⁻¹. Os anos de 2011 e 2012 apresentaram dose de 210 e 315 mL ha⁻¹ de regulador com estimativa de produção de 3786 e 3643 kg ha⁻¹, respectivamente. Na expressão do acamamento, a equação de grau dois mostrou dose ajustada de 490 mL ha⁻¹ de regulador no ano de 2013. Nas condições em que o aumento da dose do redutor mostrou comportamento linear, a simulação da dose ideal variou entre 500 e 510 mL ha⁻¹. De modo geral, independente de ano, a dose ideal de regulador de crescimento mostrou-se ajustada com 500 mL ha⁻¹, sem reflexos negativos à produtividade de grãos e acamamento de plantas de no máximo 4%.

Na Tabela 3, comportamento similar aos experimentos com reduzida e alta fertilização com nitrogênio para as equações da produtividade de grãos foram observados. O ano de 2013 apresentou dose de 350 mL ha⁻¹ de regulador, com estimativa de produção de 4204 kg ha⁻¹. Os anos de 2011 e 2012 apresentaram dose de 210 e 315 mL ha⁻¹ de regulador com estimativa de produção de 4109 e 3643 kg ha⁻¹, respectivamente. para a expressão do acamamento, a equação de grau dois (2013) mostrou dose ajustada de 502 mL ha⁻¹ de regulador. Nas condições em que o aumento da dose do redutor mostrou comportamento linear, a simulação da dose ideal variou entre 520 e 525 mL ha⁻¹. Independente de ano, à dose ideal de regulador mostrou-se ajustada em 515 mL ha⁻¹, sem reflexos negativos à produtividade de grãos e acamamento de plantas de no máximo 4%.

Fazendo análise conjunta da produtividade de grãos e acamamento de plantas, pelo incremento da dose de regulador de crescimento, as distintas condições com N-fertilizante apresentaram dose ideal de regulador variando de 475 à 515 mL ha⁻¹, reportando em simultaneamente reduzir o acamamento sem prejuízos à produtividade de grãos.

Tabela 2: Regressão e seus parâmetros na estimativa da dose ideal de regulador de crescimento para o caráter produtividade de grãos e acamamento sobre aplicação de 90 kg ha⁻¹ de N-fertilizante

| N fertilizante (kg ha ⁻¹) | Equação $Y = a \pm bx \pm cx^2$ | R ² | P (b _{ix}) | Dose ideal (mL ha ⁻¹) | Y _E (kg ha ⁻¹) (%) |
|---------------------------------------|--|----------------|----------------------|-----------------------------------|---|
| 2011 | | | | | |
| 90 | $PG = 3991 + 1,13x - 2,7 \cdot 10^{-3}x^2$ | 0,90 | * | 210 | 4109 |
| | $AC = 58,825 - 0,103x$ | 0,91 | * | 500 | (5) |
| 2012 | | | | | |
| 90 | $PG = 3346 + 1,89x - 3 \cdot 10^{-3}x^2$ | 0,88 | * | 315 | 3643 |
| | $AC = 46 - 0,08x$ | 0,82 | * | 510 | (5) |
| 2013 | | | | | |
| 90 | $PG = 3837 + 2,1x - 3 \cdot 10^{-3}x^2$ | 0,87 | * | 350 | 4204 |
| | $AC = 82,125 - 0,3343x + 3,5 \cdot 10^{-4}x^2$ | 0,99 | * | 490 | 2,4 |
| x_{PG} | - | - | - | 290 | 3975 |
| x_{AC} | - | - | - | 500 | 4 |

*=significativo a nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F; P(b_{ix})= parâmetro que mede a inclinação da reta; R²= coeficiente de determinação; () = consideração da possibilidade de acamamento de no máximo 5%; Y_E = valor estimado.

Tabela 3: Regressão e seus parâmetros na estimativa da dose ideal de regulador de crescimento para o caráter produtividade de grãos e acamamento sobre aplicação de 150 kg ha⁻¹ de N-fertilizante

| N fertilizante (kg ha ⁻¹) | Equação $Y = a \pm bx \pm cx^2$ | R ² | P (b _{ix}) | Dose ideal (mL ha ⁻¹) | Y _E (kg ha ⁻¹) (%) |
|---------------------------------------|---|----------------|----------------------|-----------------------------------|---|
| 2011 | | | | | |
| 150 | $PG = 3849 + 0,64x - 1,1 \cdot 10^{-3}x^2$ | 0,95 | * | 290 | 3942 |
| | $AC = 82,35 - 0,147x$ | 0,93 | * | 525 | (5) |
| 2012 | | | | | |
| 150 | $PG = 3408 + 1,6x - 3 \cdot 10^{-3}x^2$ | 0,84 | * | 266 | 3674 |
| | $AC = 71,25 - 0,127x$ | 0,89 | * | 520 | (5) |
| 2013 | | | | | |
| 150 | $PG = 4063 + 2,25x - 3 \cdot 10^{-3}x^2$ | 0,98 | * | 375 | 4484 |
| | $AC = 83,8375 - 0,3214x + 3,2 \cdot 10^{-4}x^2$ | 0,99 | * | 502 | 3,1 |
| x_{PG} | - | - | - | 310 | 4033 |
| x_{AC} | - | - | - | 515 | 5 |

*=significativo a nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F; P(b_{ix})= parâmetro que mede a inclinação da reta; R²= coeficiente de determinação; () = consideração da possibilidade de acamamento de no máximo 5%; Y_E = valor estimado.

4 Conclusões

A tecnologia do uso do regulador de crescimento é eficiente na redução do acamamento de plantas de aveia e manutenção da produtividade de seus grãos.

Em condição reduzida, alta e muito alta de N-fertilizante, a dose ideal de regulador de crescimento é de 495 ml ha⁻¹, tal dose reporta em uma estimativa de acamamento inferior a 5% com produtividade de grãos ao redor de 3790 kg ha⁻¹, ou seja, sem prejuízos à produtividade de grãos.

5 Agradecimentos

Ao CNPq, CAPES, FAPERGS e à UNIJUÍ pelo aporte dos recursos destinados ao desenvolvimento deste estudo e pelas bolsas de Iniciação Científica e Tecnológica, de Apoio Técnico, de Pós-graduação e de Produtividade em Pesquisa.

Referências

- [1] O. Arf, V. do Nascimento, R. A. F. Rodrigues, R. de C. F. Alvarez, D. de C. Gitti e M. E. de Sá. Uso de etil-trinexapac em cultivares de arroz de terras altas. *Pesquisa Agropecuária*, 42:150-158, 2012. DOI:10.1590/S1983-40632012000200008
- [2] G. Benin, E. Bornhofen, E. Beche, E. S. Pagliosa, C. L. S. Silva and C. Pinnow. Agronomic performance of wheat cultivars in response to nitrogen fertilization levels. *Acta Scientiarum Agronomy*, 34:275-283, 2012. DOI:10.4025/actasciagron.v34i3.14468
- [3] A. P. M. Boschini, C. L. da Silva, C. A. da Oliveira, M. P. de Oliveira Júnior, M. Z. de Miranda e M. Fagioli. Aspectos quantitativos e qualitativos do grão de trigo influenciados por nitrogênio e lâminas de água. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15:450-457, 2011. DOI:10.1590/S1415-43662011000500003
- [4] L. Costa, C. Zucareli e C. R. Riede. Parcelamento da adubação nitrogenada no desempenho produtivo de genótipos de trigo. *Revista Ciência Agronômica*, 44:215-224, 2013. DOI:10.1590/S1806-66902013000200002
- [5] C. D. Cruz. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum Agronomy*, 35:271-276, 2013. DOI:10.4025/actasciagron.v35i3.21251
- [6] R. A. Flores, S. S. Urquiaga, B. J. R. Alves, L. S. Collier, R. F. de Moraes e R. de M. Prado. Adubação nitrogenada e idade de corte na produção de matéria seca do capim-elefante no Cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16:1282-1288, 2012. DOI:10.1590/S1415-43662012001200004
- [7] R. S. Fontaneli, H. P. Santos, R. S. Fontaneli e E. A. Lampert. Rendimento de grãos de aveia branca em sistemas de produção com integração lavoura-

- pecuária, sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 7:790-796, 2012. DOI:10.5039/agraria.v7isa2215
- [8] M. C. Hawerth, J. A. G. da Silva, C. A. Souza, A. C. de Oliveira, H. de S. Luche, C. M. Zimmer, F. J. Hawerth, J. Schiavo, J. C. Sponchiado. Redução do acamamento em aveia-branca com uso do regulador de crescimento etil-trinexapac. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50:115-125, 2015. DOI:10.1590/S0100-204X2015000200003
- [9] J. Moes and E.H. Stobbe. Barley treated with ethephon: I. yield components and net grain yield. *Agronomy Journal*, 83:86-90, 1991. DOI:10.2134/agronj1991.00021962008300010021x
- [10] F. Schwerz, B. O. Caron, D. Schmidt, D. M. de Oliveira, E. F. Elli, E. Eloy and A. P. Rockenbach. Growth retardant and nitrogen levels in wheat agronomic characteristics, *Científica*, 43:93-100, 2015. DOI:10.15361/1984-5529.2015v43n2p93-100
- [11] J. A. G. da Silva, E. G. Arenhardt, C. A. M. B. Krüger, O. A. Lucchese, M. Metz, A. Marolli. A expressão dos componentes de produtividade do trigo pela classe tecnológica e aproveitamento do nitrogênio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19:27-33, 2015. DOI:10.1590/1807-1929/agriambi.v19n1p27-33
- [12] J. A. G. da Silva, C. Fontaniva, J.S.P. Costa, C.A.M.B. Krüger, C. Ubessi, F.B. Pinto, E.G. Arenhardt e E. Gewehr. Uma proposta na densidade de semeadura de um biotipo atual de cultivares de aveia. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 18:253-263, n4, 2012.
- [13] C. P. Silveira, D. A. de B. Oliveira, E. M. Silva and F. A. Monteiro. Two years of nitrogen and sulfur fertilizations in a signal grass pasture under degradation: changes in the root system. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40:1195-1203, 2011. DOI:10.1590/S1516-35982011000600006