

MODELAGEM DO CRESCIMENTO VEGETATIVO E REPRODUTIVO DO MORANGUEIRO VIA REGRESSÃO POLINOMIAL ORTOGONAL

MODELING THE VEGETATIVE AND REPRODUCTIVE GROWTH OF STRAWBERRY PLANTS USING ORTHONOGONAL POLYNOMIAL REGRESSION

Josiele Garcia Dutra¹ 

Pollyane Vieira da Silva² 

Roberta Marins Nogueira Peil³ 

Resumo: A regressão polinomial é uma ferramenta eficiente para modelar dados que exibem importantes flutuações ao longo do tempo, como os representativos do crescimento vegetativo e reprodutivo de culturas de ciclo longo, a exemplo do morangueiro. O objetivo deste trabalho foi detalhar o processo de decomposição da soma de quadrados dos tratamentos em componentes polinomiais ortogonais, aplicado à dados de massa fresca vegetativa e reprodutiva das cultivares de morangueiro *San Andreas* e *Albion*, ao longo de dois ciclos de cultivo. Os resultados mostraram que os crescimentos vegetativo e reprodutivo distinguem-se entre ciclos e entre cultivares. Para a cultivar *San Andreas*, no primeiro ciclo, os componentes de maior grau significativo foram linear e quártico para o crescimento vegetativo e reprodutivo, respectivamente. No segundo ciclo, os componentes polinomiais de maior grau significativo foram os subsequentes cúbico e quártico, respectivamente. A cultivar *Albion*, no primeiro ciclo, apresentou componentes de maior grau significativo quártico e quártico para o crescimento vegetativo e reprodutivo, respectivamente. No segundo ciclo, foram o quadrático e o quártico, para crescimento vegetativo e reprodutivo, respectivamente. O processo de decomposição da soma de quadrados dos tratamentos em componentes polinomiais ortogonais foi detalhado para um dos oito ajustes polinomiais em estudo e de forma análoga foi replicado aos demais ajustes. Conclui-se que a decomposição foi eficiente para a definição dos polinômios ajustados aos dados de massa fresca vegetativa e reprodutiva nos dois ciclos de cultivo do morangueiro.

Palavras-chave: Decomposição Ortogonal. Massa Fresca. Ciclos de Cultivo. *San Andreas*. *Albion*.

Abstract: Polynomial regression is an efficient tool for modeling data that exhibit significant fluctuations over time, such as those representing the vegetative and reproductive growth of long-cycle crops, exemplified by the strawberry. The objective of this study was to detail the process of decomposing the treatment sum of squares into orthogonal polynomial components, applied to vegetative and reproductive fresh mass data of the strawberry cultivars *San Andreas* and *Albion* over two cultivation cycles. The results showed that vegetative and reproductive growth differed between cycles and cultivars. For the *San Andreas* cultivar, in the first cycle, the most

¹ Mestra em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, josigardu19@gmail.com

² Dra. em Estatística e Experimentação Agronômica, UFPel, pollyane.silva@ufpel.edu.br

³ Dra. em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, rnpeil@gmail.com

significant polynomial components were the linear and quintic terms for vegetative and reproductive growth, respectively. In the second cycle, the most significant components were the cubic and quartic terms, respectively. For the *Albion* cultivar, in the first cycle, the most significant components were the quartic and quintic terms for vegetative and reproductive growth, respectively. In the second cycle, they were the quadratic and quintic terms, for vegetative and reproductive growth, respectively. The process of decomposing the treatment sum of squares into orthogonal polynomial components was detailed for one of the eight polynomial fits under study and was analogously replicated for the remaining fits. It is concluded that the decomposition was effective in defining the polynomial models fitted to the vegetative and reproductive fresh mass data across the two strawberry cultivation cycles.

Keywords: Orthogonal Decomposition. Fresh Mass. Cultivation Cycles. San Andreas. Albion.

1 INTRODUÇÃO

A regressão polinomial é uma ferramenta eficiente para modelar dados que exibem importantes flutuações ao longo do tempo (DUTRA *et al.*, 2025, p. 33), como os representativos do crescimento vegetativo e reprodutivo de culturas de ciclo longo, a exemplo do morangueiro. A evolução das tecnologias de produção, em especial o cultivo do morangueiro em substrato contribuiu, nos últimos anos, para que a cultura antes cultivada como anual, agora alcance maior longevidade, permitindo à mesma planta, manter-se satisfatoriamente produtiva por dois anos ou mais (PEIL *et al.*, 2024, p. 2).

Durante um ciclo completo de cultivo, as temperaturas e os níveis de radiação solar variam significativamente, influenciando o metabolismo e a dinâmica de absorção dos nutrientes e portanto, o crescimento vegetativo e reprodutivo das plantas (DUTRA *et al.*, 2024, p. 67). A exemplo disso, os meristemas apicais, por exemplo, podem variar inclusive em tamanho e estrutura com a atividade estacional (TAIZ *et al.*, 2024, p. 376). Adicionalmente, entre ciclos, o metabolismo e as respostas ao manejo podem mudar em função da idade e do envelhecimento das plantas (SONSTEBY, 2016, p. 27), refletindo adaptações fisiológicas em alocação de energia. As plantas estabelecem processos de compensação, em que as funções vegetativas e reprodutivas podem ser concorrentes (LUNDGREN *et al.*, 2020, p. 2; GARLAN *et al.*, 2021, p. 84), o que ocorre em parte pela incompatibilidade dos processos celulares de divisão e diferenciação (OBESO, 2002, p. 323).

Dessa forma, a análise conjunta dos dados de massa fresca de parte aérea, que representam o crescimento vegetativo, e dos dados de massa fresca dos frutos, que representam o crescimento reprodutivo, bem como a comparação dessa dinâmica entre diferentes ciclos de cultivo podem servir de base para o planejamento da mão de obra, correções na fertirrigação, dentre outros manejos envolvidos na atividade de produzir morangos.

A relevância do tema exige que os procedimentos matemático-estatísticos que embasam o emprego dos polinômios ortogonais para a construção da equação que define a relação entre x e y sejam didaticamente demonstrados em trabalhos científicos, de modo a servir de base a outras pesquisas, dada a

importância desta ferramenta e a ausência desse tipo de detalhamento. Com base nisso, o objetivo deste trabalho é detalhar o processo de decomposição da soma de quadrados de tratamentos em componentes polinomiais ortogonais, aplicado a dados de massa fresca vegetativa e reprodutiva de duas cultivares de morangueiro ao longo de dois ciclos de cultivo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação localizada no Campo Didático-Experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Pelotas, Campus Capão do Leão, RS (31°52' S, 52°21' O, e 13 m de altitude) entre 28 de março de 2022 e 22 de março de 2024. As mudas das cultivares de dias neutros San Andreas e Albion foram transplantadas para calhas de madeira preenchidas com substrato de casca de arroz carbonizada e dispostas sobre bancadas com declividade de 4%, de modo a permitir a recirculação da solução nutritiva. O delineamento experimental escolhido foi blocos casualizados. Para a realização deste trabalho, as plantas foram avaliadas em dois ciclos, cada um com duração de aproximadamente um ano. Foram avaliados seis tratamentos em cada ano: aos 60, 120, 180, 240, 300 e 360 dias, que correspondem aos períodos de crescimento do 0 aos 60, dos 61 aos 120, dos 121 aos 180, dos 181 aos 240, dos 241 aos 300, e dos 301 aos 360 dias após plantio (DAP), no primeiro ciclo, e dias após poda de renovação (DAPR), no segundo ciclo. As coletas, em ambos os ciclos, correspondem às mesmas datas.

Foram avaliadas as massas frescas de folhas, coroas, ramos florais e estolões, cujo somatório originou os valores da massa fresca vegetativa, em g/planta, e as massas frescas de frutos comerciais, não comerciais (pequenos, deformados ou doentes) e verdes (por ocasião da coleta das plantas), dando origem à massa fresca reprodutiva, em g/planta. Em cada coleta, foram amostradas quatro parcelas (uma por bloco) de cada cultivar. Toda a biomassa removida durante a manutenção das plantas entre as coletas foi somada à massa fresca da porção correspondente e adicionada à coleta subsequente.

O procedimento para determinar o grau do polinômio a ser ajustado baseia-se na decomposição da variação atribuível aos tratamentos em

componentes correspondentes aos contrastes linear, quadrático, cúbico, entre outros, e nos testes de significância associados. Assim, o grau do polinômio a ser ajustado é aquele correspondente ao componente significativo de maior grau. Quando os níveis consecutivos do fator são igualmente espaçados e as médias baseiam-se em um mesmo número de repetições, o procedimento computacional torna-se mais simples, podendo-se utilizar fórmulas apropriadas e coeficientes de contrastes disponíveis em tabelas específicas (SILVA, 2003, p. 69).

Após a análise de variância e o teste de significância da variação global atribuível aos efeitos de tratamento, realiza-se a decomposição da Soma de Quadrados dos Tratamentos (SQTrat) em componentes polinomiais ortogonais. As somas de quadrados para os contrastes polinomiais ortogonais (SQP_k), cada uma com um grau de liberdade, são dadas pela seguinte expressão:

$$SQP_k = \frac{(\sum_{i=1}^t P_{ki} y_i)^2}{r \sum_{i=1}^t P_{ki}^2}, k = 1, \dots, p \quad (1)$$

onde t representa o número de tratamentos; r é o número de repetições; P_{ki} é o coeficiente do contraste no k -ésimo componente e no i -ésimo tratamento e y_i é a soma das repetições no i -ésimo tratamento.

A partir dessas somas de quadrados, é possível construir a análise de variância com a decomposição entre tratamentos em componentes polinomiais ortogonais e verificar a sua significância. O ajuste da curva polinomial pode ser realizado com base nos dados experimentais. A equação polinomial de grau p dada por $y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_px^p$ pode ser reescrita da seguinte forma:

$$y = B_0 + B_1P_1 + B_2P_2 + \dots + B_pP_p \quad (2)$$

em que $\widehat{B}_0 = \bar{y} = \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \dots + \bar{y}_t}{t}$ e $\widehat{B}_k = \frac{\sum_{i=1}^t P_{ki} y_i}{r \sum_{i=1}^t P_{ki}^2}$, $k = 1, \dots, p$.

Os polinômios ortogonais utilizados são:

$$P_1 = L_1X,$$

$$P_2 = L_2 \left(X^2 - \frac{t^2 - 1}{12} \right),$$

$$P_3 = L_3 \left(X^3 - \frac{3t^2 - 7}{20} X \right),$$

$$P_{k+1} = P_1 P_k - \frac{k^2(t^2 - k^2)}{4(4k^2 - 1)} P_{k-1},$$

onde L_k é obtido a partir de tabelas específicas expressas em diversas obras como em Banzatto (1995, p. 236) e Silva (2003, p. 313).

Observe que os polinômios ortogonais são construídos em função de uma nova variável, X , obtida a partir de uma transformação da variável original x . Para isso, realiza-se a seguinte mudança de escala, que centraliza a variável na origem:

$$X = \frac{x - \bar{x}}{q}, \quad (3)$$

em que $\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_t}{t}$ corresponde à média dos valores de x . Como os níveis consecutivos do tratamento são igualmente espaçados, o valor q corresponde a esse espaçamento comum entre eles (SILVA, 2003, p. 72).

Após o ajuste do modelo polinomial na variável transformada X , é necessário retornar à variável original x . Esse passo garante que a equação polinomial predita possa ser interpretada de forma prática, no contexto dos dados e dos níveis de tratamento analisados.

O procedimento descrito acima foi realizado para todos os dados em estudo e foi detalhado para o caso do crescimento vegetativo no segundo ciclo. Todas as análises estatísticas foram realizadas no *software* R (R CORE TEAM, 2025).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância e do teste de significância para a variação global atribuível aos efeitos dos tratamentos são apresentados na Tabela 1. Como o tratamento mostrou-se estatisticamente significativo ($p < 0,05$), procedeu-se com a análise detalhada dos efeitos.

Tabela 1 - Análise de variância da massa fresca vegetativa da cultivar de morangueiro San Andreas no segundo ciclo de cultivo.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	valor p
Bloco	3	8387	2795,7	0,9708	0,4323525
Tratamento	5	152254	30450,8	10,5740	0,0001702
Erro	15	43197	2879,8		
Total	23				

Fonte: Das autoras.

Como os níveis de tratamento foram igualmente espaçados (60, 120, 180, 240, 300, 360 DAPR) e cada nível possui quatro repetições ($r = 4$), é possível utilizar tabelas específicas que podem ser encontradas em Banzatto (1995, p. 236). Para $t = 6$ essa tabela específica fornece que o maior grau possível para o polinômio é $k = 5$, além disso, apresenta tanto os coeficientes de contrastes quanto $\sum_{i=1}^t P_{ki}^2$ e L_k , como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Coeficientes (P_{ki}) dos componentes polinomiais e dados para o ajuste polinomial até o grau 5.

k	Componente	Tratamento						$\sum_{i=1}^t P_{ki}^2$	L_k
		60	120	180	240	300	360		
1	Linear	-5	-3	-1	1	3	5	70	2
2	Quadrático	5	-1	-4	-4	-1	5	84	3/2
3	Cúbico	-5	7	4	-4	-7	5	180	5/3
4	Quártico	1	-3	2	2	-3	1	28	7/12
5	Quíntico	-1	5	-10	10	-5	1	252	21/10
Total: y_i		925,36	1091,90	1141,16	1141,45	1264,34	1924,40		

Fonte: Das autoras.

A adequação da função de resposta linear-quadrática-cúbica-quártica-quíntica para expressar a relação entre massa fresca vegetativa e tratamento foi verificada por meio da decomposição da SQTrat em componentes polinomiais ortogonais (SQP_k). Para o cálculo da SQP_k, conforme a Equação 1, foram obtidas as estimativas dos contrastes (\hat{C}_k) para os componentes linear, quadrático, cúbico, quártico e quántico, apresentados juntamente com seus respectivos valores de SQP_k na Tabela 3.

Tabela 3 - Estimativas dos contrastes (\hat{C}_k) e respectivas somas de quadrados polinomiais (SQP_k).

k	\hat{C}_k	SQP _k
1	$\sum_{i=1}^6 P_{1i}y_i = 5512,81$	$\frac{(5512,81)^2}{4 \times 70} = 108539,55$
2	$\sum_{i=1}^6 P_{2i}y_i = 2762,12$	$\frac{(2762,12)^2}{4 \times 84} = 22706,27$
3	$\sum_{i=1}^6 P_{3i}y_i = 3786,96$	$\frac{(3786,96)^2}{4 \times 180} = 19918,15$
4	$\sum_{i=1}^6 P_{4i}y_i = 346,26$	$\frac{(346,26)^2}{4 \times 28} = 1070,50$
5	$\sum_{i=1}^6 P_{5i}y_i = 139,74$	$\frac{(139,74)^2}{4 \times 252} = 19,37$

Fonte:Das autoras.

A análise da variância com a decomposição da SQTrat nos componentes polinomiais ortogonais é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 - Análise de variância para os dados de massa fresca vegetativa do segundo ciclo, com a decomposição da variação entre tratamentos em componentes polinomiais ortogonais.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	Valor p
Bloco	3	8387			
Tratamento	5	152254			
Linear	1	108539,55	108539,55	37,69	0,0000189
Quadrático	1	22706,27	22706,27	7,88	0,0132449
Cúbico	1	19918,15	19918,15	6,92	0,0189351
Quártico	1	1070,50	1070,50	0,37	0,5511882
Quíntico	1	19,37	19,37	0,01	0,9357167
Erro	15	43197			

Fonte: Das autoras.

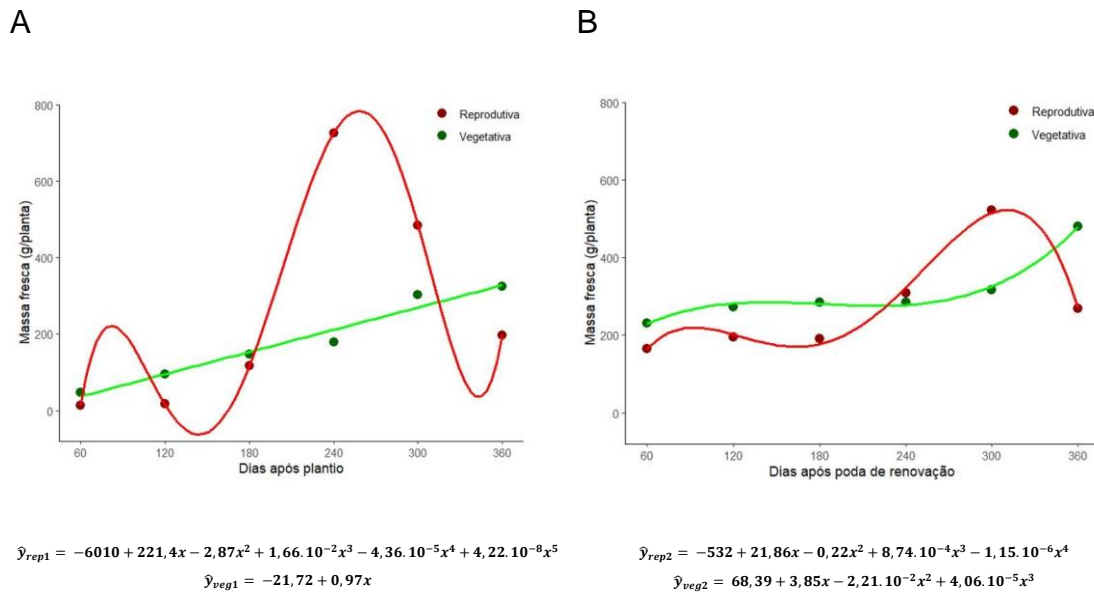
Observa-se que os componentes linear, quadrático e cúbico foram significativos e os componentes quártico e quántico não foram significativos. Esses resultados indicaram a adequabilidade de um modelo polinomial linear-quadrático-cúbico aos dados. No ajuste do polinômio utilizaram-se das fórmulas apresentadas na Equação 2 para calcular as estimativas dos parâmetros, e assim obter a equação de predição.

Seguindo o mesmo princípio, realizou-se a decomposição da SQTrat em polinômios ortogonais para os dados de massa fresca reprodutiva e vegetativa nos dois ciclos de cultivo. Os ajustes polinomiais estão apresentados nas Figuras 1 e 2.

Nas Figuras 1 (San Andreas) e 2 (Albion), pode-se observar que os crescimentos vegetativo e reprodutivo distinguem-se mais claramente entre ciclos, e menos entre cultivares.

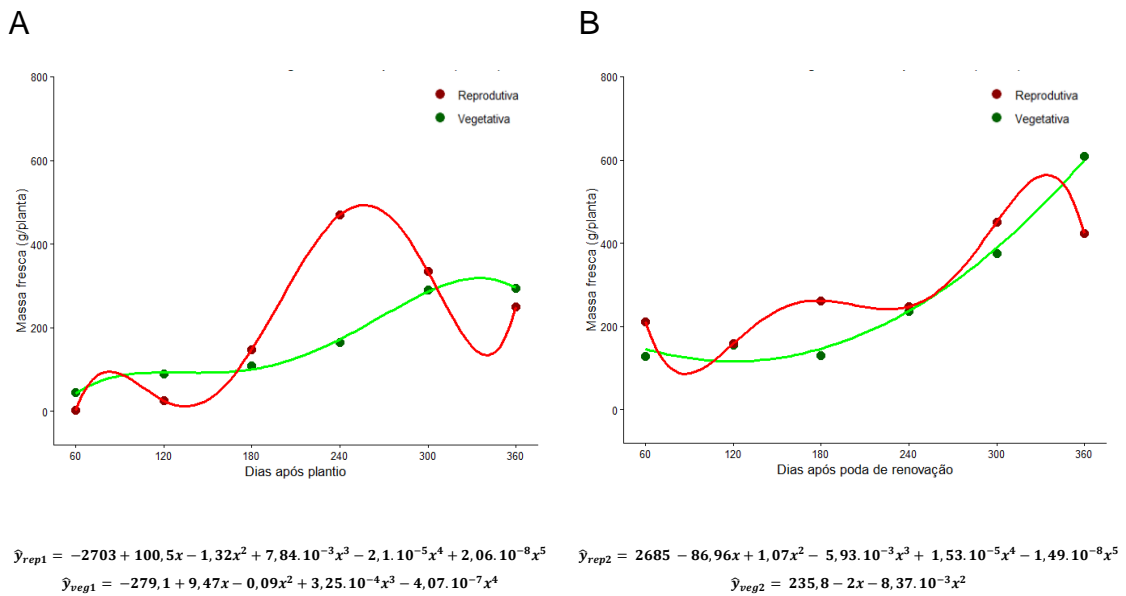
De acordo com a Figura 1 (San Andreas), no primeiro ciclo (abril/2022 a março/2023), (Figura 1A), os componentes linear e quántico são significativos, respectivamente, indicando que os crescimentos vegetativo e reprodutivo do morangueiro não evoluíram de forma sincronizada, refletindo a alternância entre fases de expansão foliar e de alocação de recursos para a frutificação. No segundo ciclo (abril/2023 a março/2024) (Figura 1B), os componentes polinomiais significativos são os subseqüentes cúbico e quártico, demonstrando menos discrepância entre as curvas de ajuste, e um pico reprodutivo menos acentuado. Esse padrão sugere maior equilíbrio das funções fisiológicas ao longo do segundo ciclo.

Figura 1 - Ajuste dos modelos polinomiais aos dados de massa fresca reprodutiva e vegetativa da cultivar San Andreas no (a) primeiro ciclo e no (b) segundo ciclo de cultivo.



Fonte: Das autoras.

Figura 2 - Ajuste dos modelos polinomiais aos dados de massa fresca reprodutiva e vegetativa da cultivar Albion no (a) primeiro ciclo e no (b) segundo ciclo de cultivo.



Fonte: Das autoras.

No que diz respeito aos dados de massa fresca vegetativa da cultivar San Andreas no primeiro ciclo de cultivo (Figura 1A), o componente linear significativo sugere que o crescimento foi constantemente crescente e aparentemente não foi fortemente afetado por outro fator ao longo do tempo, variando de uma média de 47,77 g/planta do 0 aos 60 DAP, a 323,95 g/planta dos 301 aos 360 DAP. O primeiro ano compreende o estabelecimento e desenvolvimento da cultura da fase jovem para a fase adulta. Essa linearidade corrobora com Dutra *et al.*, (2024, p. 68) que, associaram os dados de massa seca de folhas da mesma cultivar a uma estrutura ainda compacta das plantas no período de primavera, alterando-se para um maior acúmulo de biomassa e estrutura mais expandida somente a partir dos meses de verão.

Quando analisadas conjuntamente as curvas vegetativa e reprodutiva, observa-se, pela dispersão dos pontos (Figura 1A) que até os 180 DAP (24/09/2022), o crescimento vegetativo e reprodutivo são semelhantes, embora o crescimento vegetativo seja discretamente superior. Devido ao período de reprodução da cultura, o componente polinomial estatisticamente significativo se justifica pelo evidente pico de produção acumulada de frutos no período dos 181 aos 240 DAP (25/09 a 23/11/2022) somando 726,59 g/planta.

Esse pico de massa fresca de frutos se estendeu até os 300 DAP (22/01/2023), porém, em menor proporção, com média de 484,45 g/planta. Ocorre uma diminuição segundo Thomas (2013, pág. 696) à medida que fatores metabólicos e ambientais limitantes se tornam cada vez mais influentes. Nesta ocasião, a temperatura registrada nos últimos dois períodos atingiu média das máximas de 36,4 e 34,2 °C, respectivamente (DUTRA *et al.*, 2025, pág. 38). No período de 23/01 a 23/03/2023 a produção de frutos foi ultrapassada pelo crescimento vegetativo, possivelmente pelos altos índices de absorção de nitrogênio do período anterior (DUTRA *et al.*, 2025, pág. 39) e posterior translocação e aproveitamento deste nutriente no período subsequente.

Em relação ao crescimento vegetativo do segundo ciclo de cultivo (Figura 1B), o componente polinomial significativo de maior grau foi cúbico. Diferentemente do primeiro ciclo, houve uma certa estabilidade no crescimento de órgãos vegetativos, com média de 268,74 g/planta até os 240 DAPR

(23/11/2023). O aumento progressivo desse crescimento ocorreu a partir dos 301 DAPR (23/01/2024).

Quanto ao crescimento reprodutivo (Figura 1B), a estabilidade ocorreu até os 180 DAPR, cuja média manteve-se em 183,58 g/planta de massa fresca de frutos. Há um importante pico de produção, ainda que menos expressivo do que o do ciclo anterior, que inicia aos 181 DAPR e atinge média de 522,23 g/planta de frutos dos 241 aos 300 DAPR (24/11/2023 a 22/01/2024). Em contraste, no primeiro ciclo, o pico de produção se deu no período anterior.

De acordo com a Figura 2 (Albion), no primeiro ciclo de cultivo (abril/2022 a março/2023), (Figura 2A), observa-se que, apesar do pico reprodutivo semelhante à cultivar San Andreas, dado seu componente polinomial quártico significativo, o crescimento vegetativo ajustado significativamente pelo componente quártico demonstrou maior oscilação da expansão foliar nessa cultivar. Os períodos de maior expansão foliar foram entre 61 e 120 DAP (28/05 a 26/07/2022) e entre 241 e 300 DAP, (24/11/2022 a 22/01/2023), em que acumularam aproximadamente o dobro do peso acumulado em seus respectivos períodos anteriores.

A massa fresca reprodutiva alcançou seu pico dos 181 aos 240 DAP (25/09 a 23/11/2022), acumulando 469,65 g de frutos colhidos por planta nesse período. Essa média foi 35,4% menor do que a acumulada pela cultivar San Andreas no mesmo período, evidenciando as diferenças genéticas que se traduziram em diferentes respostas fisiológicas ao mesmo ambiente e manejo.

No segundo ciclo de cultivo (Figura 2B), o crescimento vegetativo foi ajustado pelo polinômio significativo quadrático, enquanto o crescimento reprodutivo foi ajustado pelo polinômio significativo quártico. Embora os polinômios ajustados sugiram discrepância, dada a maior oscilação do crescimento reprodutivo, quando se observa-se descritivamente os pontos, tem-se que a massa fresca reprodutiva foi superior à vegetativa, exceto ao final do ciclo, em que o crescimento vegetativo ultrapassa o reprodutivo, quando, oportunamente, após período de altas temperaturas, ocorre o estímulo ao crescimento de estolões (NAIDK *et al.*, 2022, pág. 38), fenômeno também observado na cultivar San Andreas.

Diferentemente do primeiro ciclo, a maior produtividade da cultivar Albion concentrou-se nos últimos 120 dias, entre 241 e 360 DAPR (24/11/2023 a 22/03/2024), acumulando 873,2 g/planta neste período. Ao final do primeiro ciclo, a cultivar San Andreas alcançou produção de frutos em média 26,5% superior à Albion. Por outro lado, no segundo ciclo, a cultivar Albion alcançou produção de frutos 6,2% superior à de San Andreas.

A produção do primeiro ciclo foi mais estacional, apresentando pico mais evidente, enquanto no segundo ciclo de cultivo, a produção foi mais bem distribuída, ainda que com oscilações presentes. Como uma cultura de clima temperado, as plantas, em especial em seu primeiro ciclo de cultivo, podem ter uma alta produtividade estabelecida rapidamente após expansão das coroas, de modo a fortalecer o sistema radicular e armazenar reservas para, segundo Durner *et al.* (1984, pág. 399), em período de repouso vegetativo sob ótimo intervalo de temperaturas (entre 14 e 18°C), ocorrer a indução floral e frutificação.

A produção do segundo ciclo foi evidentemente mais bem distribuída em ambas as cultivares. Ainda assim, mesmo tratando-se de cultivares de dias neutros, houve um momento no segundo ciclo em que as plantas encontraram condições ambientais mais favoráveis ao crescimento reprodutivo, gerando relativa concentração da produção de frutos, o que corrobora com as observações de Fagherazzi *et al.*, (2017, pág. 56).

4 CONCLUSÃO

O processo de decomposição da soma de quadrados dos tratamentos em componentes polinomiais ortogonais foi detalhado para um dos oito ajustes polinomiais em estudo e de forma análoga foi replicado aos demais ajustes. Conclui-se que a decomposição foi eficiente para a definição dos polinômios ajustados aos dados de massa fresca vegetativa e reprodutiva nos dois ciclos de cultivo das duas cultivares de morangueiro.

REFERÊNCIAS

- BANZATTO, D. A. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: UNESP, 1995.
- DURNER, E. F.; BARDEN, J.; HIMELRICK, D.; POLING, E. Photoperiod and temperature effects on flower and runner development in day-neutral, Junebearing, and everbearing strawberries. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 109, p. 396–400, 1984. DOI: 10.21273/JASHS.109.3.396.
- DUTRA, J. G.; NOLIBOS, J. P. S.; SILVA, P. V.; PEIL, R. M. N. Dinâmica de extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de dos variedades de frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivadas en sustrato. **Horticultura Argentina**, v. 44, p. 1, 2025.
- DUTRA, J. G.; SILVA, P. V.; PEIL, R. M. N. Modelos de regressão não linear como ferramenta para descrever o crescimento vegetativo do morangueiro. **SIGMAE**, v. 13, p. 62–74, 2024.
- FAGHERAZZI, A. F. **Adaptabilidade de novas cultivares e seleções de morangueiro para o planalto sul catarinense**. 2017. Tese (Doutorado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.
- GARLAND, T.; DOWNS, C. J.; IVES, A. R. Trade-offs (and constraints) in organismal biology. **Physiological and Biochemical Zoology**, v. 95, p. 82–112, 2021. DOI: 10.1086/717897.
- LUNDGREN, Marjorie R.; DES MARAIS, David L. Life History Variation as a Model for Understanding Trade-Offs in Plant–Environment Interactions. **Current Biology**, 2020. DOI: 10.1016/j.cub.2020.01.003
- NAIDK, T. A.; CAPELLESSO, A. J.; CARDOSO, F. L.; TERNUS, M. J.; BAZI, C. Desempenho produtivo de cultivares de morangueiro Pircinque e Jonica em quatro datas de plantio em cultivo sem solo. **Agropecuária Catarinense**, v. 35, n. 3, p. 37–39, 2022. DOI: 10.52945/rac.v35i3.1500.
- OBESO, J. R. The costs of reproduction in plants. **New Phytologist**, v. 155, p. 321–348, 2002. DOI: 10.1046/j.1469-8137.2002.00477.x.
- PEIL, R. M. N.; DUTRA, J. G.; SILVEIRA, C. A. P.; ANTUNES, L. E. C. **Cultivo do morangueiro em substrato com recirculação da solução drenada**. Circular Técnica 253. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2024. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1173277/1/CIRCULAR-253-Cultivo-domorangueiro-em-substrato-com-recirculacao.pdf>. Acesso em: 20 out. 2025.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 20 out. 2025.
- SILVA, J. G. C. da. **Estatística experimental**. São Paulo. 1997.
- SILVA, João Gilberto Corrêa da. **Estatística experimental: análise estatística de experimentos**. Versão preliminar. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas,

Instituto de Física e Matemática, Departamento de Matemática, Estatística e Computação, 2003.

SONSTEBY, A.; SOLHAUG, K. A.; HEIDE, O. M. Functional growth analysis of 'Sonata' strawberry plants grown under controlled temperature and daylength conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 211, p. 26–33, 2016. DOI: 10.1016/j.scienta.2016.08.003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A.; OLIVEIRA, P. L.; LIMA, J. C. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2024.

THOMAS, H. Senescence, ageing and death of the whole plant. **New Phytologist**, v. 197, n. 3, p. 696–711, 2013. DOI: 10.1111/nph.12047.