

Ciclo total e subperíodos da batateira na primeira e segunda safra na região central do Rio Grande do Sul

Sidinei Zwick Radons¹, Arno Bernardo Heldwein², Mateus Possebon Bortoluzzi³, Roberto Trentin⁴, Jocélia Rosa da Silva², Luis Henrique Loose⁵

¹Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Cerro Largo, Cerro Largo, RS.

²Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Fitotecnia, Santa Maria, RS.

³Universidade de Passo Fundo, Faculdade de Agronomia e Veterinária, Passo Fundo, RS.

⁴Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Capão do Leão, RS.

⁵Instituto Federal Farroupilha, Campus Santo Ângelo, Santo Ângelo, RS.

E-mail autor correspondente: sidineiradons@gmail.com

Artigo enviado em 21/09/2018, aceito em 12/07/2019.

Resumo: Objetivou-se estimar a duração das fases fenológicas e do ciclo de desenvolvimento da cultura da batata e determinar as funções de distribuição de probabilidade que melhor caracterizam a distribuição dos valores obtidos, em função de uma série histórica de dados meteorológicos medidos na Estação Climatológica Principal do INMET, localizada em Santa Maria/RS. Para isso, através de dados diários de um período de 48 anos da soma térmica e do fotoperíodo, foi simulado o desenvolvimento da batata, cultivar Asterix, em 14 datas de plantio dentro dos períodos anuais recomendados para o cultivo de primeira e segunda safra na região. Procedeu-se o ajuste dos dados às funções de distribuição de probabilidade exponencial, gama, lognormal, normal e weibull. A função lognormal obteve o maior número de ajustes tanto para duração das fases quanto para o ciclo total. Verificou-se que a duração média das fases de emergência-início da tuberização (EM-IT), início da tuberização-início da senescência (IT-IS), início da senescência-colheita (IS-CO) e do ciclo total da cultura da batata varia conforme a data de plantio, exceto a duração da fase de EM-IT na primeira safra e da fase de IT-IS na segunda safra. A duração provável total do ciclo e das fases a 50% de probabilidade demonstraram tendência semelhante à apresentada pelos valores médios.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum*, modelos de desenvolvimento, soma térmica, fotoperíodo, probabilidade

Total cycle and subperiods of potato crop in the central region of Rio Grande do Sul

Abstract: The aim of this study was to estimate the duration of phenological phases and growth cycle of potato crop and determine the probability distribution functions that best characterize the values distribution obtained, as a function of a historical series of meteorological data measured on INMET's principal climatological station, situated at Santa Maria, RS, Brazil. For this, through of 48 years daily data of thermal time and photoperiod, potato development, cultivar Asterix, was simulated for 14 planting dates in the annual periods recommended for spring and fall crop season in the region. We proceed data adjustment to exponential, gamma, lognormal, normal and Weibull

probabilities distribution functions. Lognormal function has the best adjustment to the phases as to the growth cycle. The average duration of phases emergence to tuber initiation (EM-IT), tuber initiation to beginning of plant senescence (IT-IS), beginning of plant senescence to harvest (IS-CO) and growth cycle varies according to planting date, except the EM-IT phase duration in spring growing season and IT-IS phase in fall growth season. The growth cycle duration and developmental phases estimated with probability of 50% demonstrated similar patterns to that presented by mean values.

Key words: *Solanum tuberosum*, development models, thermal time, photoperiod, probability

Introdução

O Rio Grande do Sul é o quarto maior produtor de batata do Brasil. Somados os cultivos de primeira e segunda safra, foram cultivados 18.676 hectares em 2018, totalizando uma produção de mais de 457 mil toneladas (IBGE, 2019). Essa cultura tem importância socioeconômica para a agricultura familiar, especialmente na região central do estado (BISOGNIN, 1996), sendo a principal fonte de renda da agricultura familiar em muitas pequenas propriedades rurais.

A temperatura do ar e o fotoperíodo são os dois principais fatores abióticos que influenciam o desenvolvimento da cultura da batata (BISOGNIN et al., 2008). Dellai et al. (2005) analisaram a variação do filocrono da batateira em diferentes condições de densidade de plantas, além de gerar informações a respeito de outros parâmetros. Streck et al. (2007) propuseram um modelo não linear para a simulação do desenvolvimento da cultura, dividindo o ciclo em três fases. Na fase vegetativa, o modelo considera os efeitos do fotoperíodo e da temperatura média diária do ar sobre o desenvolvimento da cultura, visto que a batateira é uma planta de dia curto para início de tuberização e de dia longo e/ou neutra para florescimento (HELDWEIN et al., 2009). Nas fases de tuberização e senescência, apenas a temperatura

média diária do ar é levada em consideração no cálculo da taxa diária de desenvolvimento (STRECK et al., 2007).

Apesar de não ser a melhor maneira para expressar o tempo biológico em plantas, o conhecimento da duração do ciclo e das fases fenológicas das culturas em dias do calendário civil é importante para o planejamento de atividades, como, por exemplo, a adubação nitrogenada e a colheita, que costumam demandar maquinário agrícola e mão de obra no caso da batata (BISOGNIN, 1996). Associado a isso, Paula et al. (2005) não obtiveram bons resultados utilizando o método da soma térmica para a cultivar Asterix. Nesse contexto, os modelos de simulação de desenvolvimento e as funções densidade de probabilidade (fdp) são ferramentas úteis para estimar a duração provável das fases e do ciclo das culturas (TRENTIN et al., 2013).

O objetivo deste trabalho foi estimar a duração das fases e do ciclo total de desenvolvimento da cultura da batata e determinar as funções de distribuição de probabilidades que melhor caracterizam a distribuição destes dados.

Material e métodos

Os dados diários de temperatura do ar utilizados nesse estudo compreenderam o período de julho de

1968 até junho de 2016, totalizando 48 anos, os quais foram obtidos na Estação Climatológica Principal de Santa Maria/RS (29°43'23"S; 53°43'15"W; 95 m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido, sem estação seca definida, com verões quentes (HELDWEIN et al., 2009).

Quatorze datas de plantio da batata foram simuladas em cada ano, nos períodos recomendados para o cultivo da batata na região (BISOGNIN, 1996; PEREIRA et al., 2005). Sete datas (01/jul, 10/jul, 20/jul, 01/ago, 10/ago, 20/ago e 31/ago) abrangeram o período de final de inverno/início de primavera (primeira safra) e outras sete datas (01/fev, 10/fev, 20/fev, 01/mar, 10/mar, 20/mar e 30/mar) abrangeram o período de final de verão/início de outono (segunda safra). O tempo decorrido entre o plantio e a emergência da cultura, momento em que se iniciou a simulação do desenvolvimento, foi assumido como sendo de 20 dias para o período da primeira safra e 10 dias para a segunda safra (STRECK et al., 2006).

O genótipo escolhido para as simulações foi a cultivar Asterix, devido à existência de parâmetros locais definidos para determinar o desenvolvimento das plantas desta cultivar e também por ser um dos principais genótipos de batata cultivados na região central do Rio Grande do Sul (STRECK et al., 2007).

O desenvolvimento da cultura foi simulado de acordo com o modelo não linear proposto por Streck et al. (2007), tendo como base a temperatura média diária do ar e, na fase vegetativa, também o fotoperíodo. O modelo utiliza o cálculo da taxa diária de desenvolvimento (r , dia⁻¹) para cada uma das fases.

Para a fase vegetativa, da emergência (EM) ao início da tuberação (IT), o desenvolvimento foi

estimado por: $r = r_{\text{máx},v} \cdot f(T_{\text{méd}}) \cdot f(P)$. Para a fase de tuberação, do IT ao início da senescência (IS), conforme a equação: $r = r_{\text{máx},t} \cdot f(T_{\text{méd}})$ e para a fase de senescência, do IS até a colheita (CO), foi estimado conforme a equação: $r = r_{\text{máx},s} \cdot f(T_{\text{méd}})$, em que, r - taxa diária de desenvolvimento (dia⁻¹); $r_{\text{máx},v}$ - taxa máxima diária de desenvolvimento na fase vegetativa (dia⁻¹); $r_{\text{máx},t}$ - taxa máxima diária de desenvolvimento na fase de tuberação (dia⁻¹); $r_{\text{máx},s}$ - taxa máxima diária de desenvolvimento na fase de senescência (dia⁻¹); $T_{\text{méd}}$ - temperatura média diária do ar (°C); $f(T_{\text{méd}})$ - função de resposta da cultura à temperatura do ar; e $f(P)$ - função de resposta da cultura ao fotoperíodo.

Foram utilizados os valores de $r_{\text{máx},v} = 0,0793 \text{ dia}^{-1}$, $r_{\text{máx},t} = 0,026 \text{ dia}^{-1}$ e $r_{\text{máx},s} = 0,012074 \text{ dia}^{-1}$ (STRECK et al., 2007). As datas de ocorrência do IT, do IS e da CO foram estimados quando o somatório da taxa diária de desenvolvimento a partir da emergência da cultura atingiu, respectivamente, os valores de 1,0, 1,8 e 2,0 (STRECK et al., 2007).

A $T_{\text{méd}}$ foi calculada pelo método oficial do INMET/8º DISME (RAMOS, SANTOS e FORTES, 2009): $T_{\text{méd}} = 0,2 (T_{12} + T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}} + 2 \cdot T_{00(n+1)})$, em que T_{12} - temperatura do ar às 12 h UTC do dia (°C); $T_{\text{máx}}$ - temperatura máxima diária do ar (°C); $T_{\text{mín}}$ - temperatura mínima diária do ar (°C); e $T_{00(n+1)}$ - temperatura do ar às 00 h UTC do dia seguinte (°C), equivalente ao horário das 21 h do dia no horário oficial de Brasília, não considerando a alteração pelo horário de verão.

A $f(T_{\text{méd}})$ (STRECK et al., 2007) é definida pelas equações: $f(T_{\text{méd}}) = [2 (T_{\text{méd}} - T_b)^\alpha (T_{\text{ót}} - T_b)^\alpha - (T_{\text{méd}} - T_b)^{2\alpha}] / (T_{\text{ót}} - T_b)^{2\alpha}$, em que: $\alpha = \ln 2 / \ln [(T_B - T_b) / (T_{\text{ót}} - T_b)]$, sendo T_B - temperatura cardinal superior de desenvolvimento da cultura (°C); T_b - temperatura cardinal inferior de desenvolvimento da

cultura ($^{\circ}\text{C}$); e $T_{\text{ót}}$ - temperatura ótima de desenvolvimento da cultura ($^{\circ}\text{C}$).

Durante as fases vegetativa e de senescência foram assumidas T_b de 4°C , $T_{\text{ót}}$ de 15°C e T_B de 28°C e para a fase de tuberização utilizou-se T_b de 7°C , $T_{\text{ót}}$ de 21°C e T_B de 30°C (STRECK et al., 2007). A $f(P)$ foi definida por: $f(P) = \exp[-\omega (P - P_c)]$, em que ω - coeficiente de sensibilidade ao fotoperíodo (h^{-1}); P - fotoperíodo (h); e P_c - fotoperíodo crítico (h).

Os valores de $10,7\text{ h}$ e $0,0645\text{ h}^{-1}$ foram assumidos para P_c e ω , respectivamente, por serem determinados como adequados para o cultivar Asterix por Streck et al. (2007). O fotoperíodo foi calculado para o local de acordo com o algoritmo de Kiesling (1982), incluindo a duração dos crepúsculos civis, ou seja, os momentos em que o sol se encontra entre 0° e 6° abaixo do plano do horizonte do observador.

As variáveis duração das fases e do ciclo da cultura foram submetidas à análise de variância e ao teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro com o auxílio do software Sisvar® (FERREIRA, 2011), considerando as datas de plantio como fonte de variação. Os valores de duração das fases e do ciclo total também foram submetidos à análise de distribuição de probabilidade e aos testes para qualidade de ajuste das funções, para verificar qual função de distribuição de probabilidades (fdp) melhor representou a distribuição dos dados.

Foram testadas as fdps exponencial, gama, lognormal, normal e Weibull. A escolha das funções foi baseada no nível de significância de 10% para pelo menos um dos testes de aderência (qui-quadrado e Kolmogorov-Smirnov), conforme Silva et al. (2008) e Trentin et al. (2013), sendo que quando houve mais de uma fdp ajustada, para

cada caso, foi escolhida a que apresentou o maior nível de probabilidade indicado pelo teste qui-quadrado. Através das funções ajustadas, estimou-se a duração do ciclo e das fases a 95, 90, 75 e 50% de probabilidade. Nos casos em que não houve ajuste a nenhuma fdp, utilizou-se a frequência observada para a determinação da probabilidade.

Resultados e discussão

Analisando o efeito das datas de plantio em cada um dos dois períodos de plantio recomendados, verificou-se que não houve diferença de duração média da fase vegetativa entre as datas no período de primeira safra (julho e agosto), em que variou entre 16,3 e 17,0 dias (Tabela 1). Os valores extremos ocorridos nos 43 anos de simulação na primeira safra foram 14 e 21 dias, sendo essa diferença devida à variabilidade interanual das condições meteorológicas no local, com a ocorrência de anos mais quentes ou frios (HELDWEIN et al., 2009).

No plantio do período de segunda safra (fevereiro e março) houve diferença de duração da fase vegetativa entre as datas de plantio, com a tendência de diminuição do início para o final da época recomendada (Tabela 1). Os valores extremos nesse período variaram mais do que no período de primeira safra, com o valor mínimo de 15 dias, que se repetiu em vários anos nas datas de plantio de 20 e 31 de março, e valor máximo de 45 dias observado no plantio simulado em 01 de fevereiro de 2001. Zanon et al. (2013) observaram duração de 17 dias para esta fase em plantio realizado em 17 de fevereiro de 2011, inferior à média obtida no presente trabalho em sete dias para o plantio próximo a essa data.

Tabela 1. Duração média (m), máxima (máx), mínima (mín) e desvio padrão (σ), em dias, das fases de emergência-início da tuberização (EM-IT) e início da tuberização-início da senescência (IT-IS) da batateira para diferentes datas de plantio, simuladas nos anos agrícolas de 1968/69 a 2015/16, em Santa Maria, RS

| Data de plantio | m | Max | mín | σ | Data de plantio | m | máx | mín | σ |
|-----------------|---------|-----|-----|----------|-----------------|--------|-----|-----|----------|
| EM-IT | | | | | | | | | |
| 01/jul | 16,8 a* | 21 | 14 | 1,8 | 01/fev | 30,4 a | 45 | 24 | 4,8 |
| 10/jul | 16,3 a | 20 | 14 | 1,7 | 10/fev | 28,3 b | 39 | 21 | 4,5 |
| 20/jul | 16,4 a | 21 | 14 | 1,3 | 20/fev | 25,7 c | 34 | 21 | 3,7 |
| 01/ago | 16,7 a | 21 | 15 | 1,4 | 01/mar | 22,6 d | 30 | 18 | 2,9 |
| 10/ago | 16,6 a | 21 | 15 | 1,4 | 10/mar | 20,1 e | 27 | 16 | 2,2 |
| 20/ago | 16,5 a | 21 | 15 | 1,4 | 20/mar | 18,0 f | 23 | 15 | 1,8 |
| 31/ago | 17,0 a | 21 | 16 | 1,2 | 31/mar | 17,0 f | 22 | 15 | 1,5 |
| IT-IS | | | | | | | | | |
| 01/jul | 48,7 a* | 58 | 36 | 4,7 | 01/fev | 34,1 a | 39 | 32 | 1,6 |
| 10/jul | 45,6 b | 53 | 34 | 4,3 | 10/fev | 34,3 a | 38 | 32 | 1,3 |
| 20/jul | 43,4 c | 51 | 36 | 3,7 | 20/fev | 35,0 a | 40 | 33 | 1,8 |
| 01/ago | 40,3 d | 45 | 35 | 2,5 | 01/mar | 36,0 a | 46 | 33 | 2,5 |
| 10/ago | 37,5 e | 42 | 33 | 1,9 | 10/mar | 38,3 b | 49 | 34 | 3,6 |
| 20/ago | 36,2 f | 41 | 33 | 1,9 | 20/mar | 43,0 c | 70 | 36 | 7,5 |
| 31/ago | 35,2 f | 40 | 33 | 1,5 | 31/mar | 48,0 d | 72 | 36 | 8,7 |

* Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$)

A maior variação da duração da fase vegetativa na segunda safra ocorreu em função do fotoperíodo, decrescente de fevereiro para março, o qual contribuiu para que a função de resposta a esse fator resultasse em valores crescentes no decorrer do período de segunda safra, obtendo-se durações cada vez menores com o atraso do plantio (STRECK et al., 2007). Essa redução do tempo necessário para o início da tuberização também foi observado para a cultura da batata-doce (ERPEN et al., 2013). Além disso, no início do período de plantio da segunda safra ocorreram com maior frequência temperaturas médias diárias do ar elevadas, por vezes acima da temperatura cardinal superior da cultura, o que reduziu o valor da função de resposta à temperatura do ar, prolongando o ciclo (PAULA et al., 2005; STRECK et al., 2006) e causando atraso

na formação dos tubérculos (STRECK et al., 2007).

Kooman et al. (1996) também verificaram que tanto temperaturas elevadas quanto fotoperíodo curto aceleraram o desenvolvimento na fase vegetativa. Esse comportamento faz sentido sob o ponto de vista ecofisiológico, já que em temperaturas acima da temperatura cardinal superior da cultura, o processo de fotossíntese não supe plenamente o carbono utilizado como substrato para a respiração celular, diminuindo as reservas energéticas da planta e a taxa de desenvolvimento (TAIZ e ZEIGER, 2013).

Desta forma, o ciclo contabilizado em dias foi mais prolongado para plantios simulados no início do período de segunda safra em relação aos plantios mais tardios, conforme também verificaram Paula et al. (2005). O conhecimento da duração da fase vegetativa é de grande valia ao produtor,

uma vez que para a determinação do IT o método mais utilizado é destrutivo, por meio do arranquio de plantas, além de existirem práticas de manejo, como a aplicação de nitrogênio em cobertura, que estão associadas ao momento do IT (BISOGNIN, 1996).

Na fase de tuberização, também se observou efeito significativo das datas de plantio, tanto na primeira safra quanto na segunda safra. Na primeira safra, conforme avança a data de plantio, tende a diminuir a duração desta fase (Tabela 1), o que é uma informação importante, tendo em vista que há correlação positiva entre a sua duração com a produção de massa seca de tubérculos (PAULA et al., 2005; SILVA et al., 2009; ZANON et al., 2013). O valor máximo absoluto dos 43 anos foi verificado para o plantio simulado em 01 de julho de 1974 (58 dias) e o mínimo (33 dias), repetiu-se em alguns anos para as datas do final desse período de plantio.

Na segunda safra, a tendência é contrária à verificada na primeira safra, aumentando a duração da fase de tuberização conforme avança a data de plantio (Tabela 1). Os valores extremos, de 32 e 72 dias, aconteceram, respectivamente, para plantios simulados no início e no final da segunda safra. Nessa fase, a faixa de temperaturas cardinais é mais elevada quando comparada as demais fases, com temperatura cardinal inferior, ótima e superior de 7, 21 e 30 °C, respectivamente (STRECK et al., 2007). Assim, o aumento da duração dessa fase é consequência da ocorrência de temperaturas do ar menores no início e final dos períodos de plantio de primeira safra e de segunda safra, respectivamente, as quais limitam o processo fotossintético e, conseqüentemente, o desenvolvimento da batateira em datas mais próximas do

solstício de inverno no Hemisfério Sul. De acordo com Bisognin et al. (2017) as condições térmicas na primavera, período que compreende algumas datas de semeadura da primeira safra, tanto para a IT quanto para a produção de tubérculos, são mais favoráveis do que na segunda safra, levando a um maior acúmulo de graus-dia durante o ciclo de desenvolvimento da batata, principalmente devido ao maior acúmulo da soma térmica na IT a IS.

Zanon et al. (2013) observaram que a duração da fase de tuberização em plantio à campo realizado em 24 de agosto de 2010 foi de 39 dias e 34 dias em plantio de 17 de fevereiro de 2011, valores idênticos à duração média obtida neste trabalho para as datas de plantio 20 de agosto e 20 de fevereiro (Tabela 1).

Na primeira safra, a duração da fase de senescência foi crescente da primeira para a sétima data de plantio (Tabela 2). A maior duração foi de 53 dias, verificada para a última data de plantio de primeira safra no ano de 1985. Nesse ano, as temperaturas do ar no mês de dezembro, quando a cultura encontrava-se em senescência, foram elevadas, com médias diárias de até 31,5 °C, sendo que a média das médias diárias do período foi de 25,7 °C. Desta forma, nota-se relação direta entre as altas temperaturas e a duração da fase de senescência, assim como verificado por Kooman et al. (1996).

Em virtude dos prováveis efeitos do aquecimento global na cultura da batata, datas tardias de plantio poderão expor a cultura a temperaturas do ar elevadas na segunda metade do ciclo acarretando menores produtividades. Assim, a antecipação da data de plantio pode ser uma alternativa para diminuir a exposição das plantas às altas temperaturas, principalmente em regiões áridas (FAGUNDES et al., 2010).

Tabela 2. Duração média (m), máxima (máx), mínima (mín) e desvio padrão (σ), em dias, da fase de início da senescência-colheita (IS-CO) e do ciclo total de desenvolvimento da batateira para diferentes datas de plantio, simuladas nos anos agrícolas de 1968/69 a 2015/16, em Santa Maria, RS

| Data de plantio | m | máx | mín | σ | Data de plantio | m | máx | mín | σ |
|-----------------|---------|-----|-----|----------|-----------------|--------|-----|-----|----------|
| IS-CO | | | | | | | | | |
| 01/jul | 19,2 a* | 23 | 17 | 1,3 | 01/fev | 19,7 a | 25 | 17 | 1,6 |
| 10/jul | 19,3 a | 23 | 18 | 1,4 | 10/fev | 19,2 a | 23 | 17 | 1,3 |
| 20/jul | 20,1 a | 24 | 18 | 1,5 | 20/fev | 18,7 a | 23 | 17 | 1,3 |
| 01/ago | 21,6 b | 27 | 18 | 2,2 | 01/mar | 19,1 a | 24 | 17 | 1,5 |
| 10/ago | 22,3 c | 31 | 18 | 2,9 | 10/mar | 19,5 a | 23 | 17 | 1,5 |
| 20/ago | 23,2 c | 33 | 19 | 3,2 | 20/mar | 19,9 a | 24 | 17 | 1,5 |
| 31/ago | 25,6 d | 53 | 19 | 5,4 | 31/mar | 20,1 a | 26 | 17 | 2,0 |
| Ciclo total | | | | | | | | | |
| 01/jul | 82,7 a* | 92 | 72 | 4,9 | 01/fev | 82,0 a | 94 | 73 | 5,2 |
| 10/jul | 79,3 b | 89 | 68 | 4,9 | 10/fev | 79,7 b | 94 | 70 | 5,5 |
| 20/jul | 77,9 c | 85 | 70 | 4,1 | 20/fev | 75,8 d | 90 | 68 | 5,0 |
| 01/ago | 76,7 c | 86 | 68 | 3,7 | 01/mar | 77,3 c | 92 | 71 | 4,9 |
| 10/ago | 74,3 d | 82 | 67 | 3,7 | 10/mar | 75,9 d | 93 | 69 | 5,5 |
| 20/ago | 73,9 d | 83 | 67 | 3,7 | 20/mar | 78,8 c | 104 | 68 | 8,2 |
| 31/ago | 75,7 d | 103 | 69 | 5,8 | 31/mar | 83,0 a | 110 | 67 | 9,2 |

* Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$)

A menor duração desta fase na primeira safra (17 dias) foi calculada para a primeira data de plantio de 1999, quando a temperatura média do ar no período de senescência foi de 15,4 °C. No período de segunda safra não houve diferença significativa para a fase de senescência, com médias entre 18,7 e 20,1 dias nas diferentes datas de plantio (Tabela 2).

Para o período de primeira safra, observou-se a tendência de diminuição do ciclo à medida que avança a data de plantio, em consequência da diminuição da fase de tuberação, embora esse efeito seja amenizado pelo aumento da duração da fase de senescência.

Na segunda safra a variação é mais complexa, em que o ciclo tende a ser mais curto nas datas de plantio de 20 de fevereiro e 10 de março e maior nas datas extremas anteriores e posteriores à esse período (Tabela 2). Essa resposta das plantas é governada pela duração das fases vegetativa e de tuberação.

Quando a tendência de aumento na duração da fase de tuberação passa a compensar a tendência de diminuição da fase vegetativa, a duração do ciclo total cessa a diminuição, passando a aumentar.

Os maiores valores de duração de ciclo total verificados para a primeira safra e segunda safra foram, respectivamente, 103 dias para o plantio simulado em 31 de agosto de 1986 e 110 dias para o plantio simulado em 31 de março de 1988. O valor mínimo foi de 67 dias, o qual se repetiu em alguns anos, para os plantios simulados em 10 e 20 de agosto e 31 de março.

Obteve-se ajuste de pelo menos uma fdp em 12 fases dentre as 42 avaliadas, sendo que as que apresentaram maior frequência de ajuste foram a lognormal (6), Weibull (3), normal (2) e gama (1), não sendo verificado nenhum caso de ajuste para a função exponencial (Tabela 3 e 4). Esses resultados são semelhantes aos obtidos

por Trentin et al. (2013), para a cultura da soja. Entretanto, esses autores obtiveram ajuste de pelo menos uma fdp

em mais de 50% dos subperíodos avaliados, superior ao verificado no presente trabalho.

Tabela 3. Funções densidade de probabilidade (fdp) selecionadas e respectivos parâmetros utilizados na determinação da duração provável (dias) das fases de emergência-início da tuberização (EM-IT), início da tuberização-início da senescência (IT-IS) e início da senescência-colheita (IS-CO) da batateira, nas datas de plantio compreendidas entre 01 de julho e 31 de agosto (primeira safra), simuladas nos anos agrícolas de 1968/69 a 2015/16, em Santa Maria, RS

| Datas de plantio | Fases | fdp | a* | b | Probabilidade | | | |
|------------------|-------|-----|--------|--------|---------------|-----|-----|-----|
| | | | | | 95% | 90% | 75% | 50% |
| 01/jul | EM-IT | W | 9,985 | 17,600 | 20 | 19 | 18 | 17 |
| | IT-IS | W | 12,060 | 50,799 | 56 | 54 | 52 | 49 |
| | IS-CO | SA | - | - | 22 | 21 | 20 | 19 |
| 10/jul | EM-IT | SA | - | - | 20 | 19 | 19 | 18 |
| | IT-IS | W | 12,153 | 47,534 | 52 | 51 | 49 | 46 |
| | IS-CO | SA | - | - | 22 | 21 | 20 | 19 |
| 20/jul | EM-IT | SA | - | - | 18 | 17 | 17 | 16 |
| | IT-IS | N | 43,372 | 3,678 | 49 | 48 | 46 | 43 |
| | IS-CO | SA | - | - | 23 | 22 | 21 | 20 |
| 01/ago | EM-IT | LGN | 2,813 | 0,082 | 19 | 19 | 18 | 17 |
| | IT-IS | SA | - | - | 45 | 44 | 42 | 40 |
| | IS-CO | SA | - | - | 26 | 25 | 23 | 21 |
| 10/ago | EM-IT | LGN | 2,806 | 0,084 | 19 | 18 | 18 | 17 |
| | IT-IS | SA | - | - | 41 | 40 | 39 | 37 |
| | IS-CO | SA | - | - | 28 | 27 | 24 | 22 |
| 20/ago | EM-IT | SA | - | - | 19 | 18 | 17 | 16 |
| | IT-IS | SA | - | - | 40 | 39 | 38 | 36 |
| | IS-CO | SA | - | - | 30 | 27 | 24 | 23 |
| 31/ago | EM-IT | SA | - | - | 29 | 19 | 17 | 17 |
| | IT-IS | SA | - | - | 37 | 37 | 36 | 35 |
| | IS-CO | SA | - | - | 31 | 31 | 27 | 25 |

* Os parâmetros são denominados de escalar (a) e de forma (b) para as fdp lognormal (LGN) e weibull (W); e de média (a) e de desvio-padrão (b) para a fdp normal (N). SA, os dados não se ajustaram a nenhuma das fdp testadas.

Tabela 4. Funções densidade de probabilidade (fdp) selecionadas e respectivos parâmetros utilizados na determinação da duração provável (dias) das fases de emergência-início da tuberização (EM-IT), início da tuberização-início da senescência (IT-IS) e início da senescência-colheita (IS-CO) da batateira, nas datas de plantio compreendidas entre 01 de fevereiro e 31 de março (segunda safra), simuladas nos anos agrícolas de 1968/69 a 2015/16, em Santa Maria, RS

| Datas de plantio | Fases | fdp | a* | b | Probabilidade | | | |
|------------------|-------|-----|--------|-------|---------------|-----|-----|-----|
| | | | | | 95% | 90% | 75% | 50% |
| 01/fev | EM-IT | SA | - | - | 37 | 36 | 34 | 30 |
| | IT-IS | SA | - | - | 37 | 37 | 35 | 34 |
| | IS-CO | SA | - | - | 23 | 22 | 20 | 19 |
| 10/fev | EM-IT | SA | - | - | 38 | 35 | 31 | 27 |
| | IT-IS | N | 34,302 | 1,319 | 36 | 36 | 35 | 34 |
| | IS-CO | LGN | 2,951 | 0,065 | 21 | 21 | 20 | 19 |
| 20/fev | EM-IT | SA | - | - | 34 | 33 | 27 | 25 |
| | IT-IS | SA | - | - | 39 | 37 | 36 | 35 |
| | IS-CO | SA | - | - | 21 | 21 | 19 | 18 |
| 01/mar | EM-IT | LGN | 3,111 | 0,125 | 28 | 26 | 24 | 22 |
| | IT-IS | SA | - | - | 40 | 39 | 37 | 35 |
| | IS-CO | SA | - | - | 21 | 21 | 20 | 19 |
| 10/mar | EM-IT | LGN | 2,995 | 0,106 | 24 | 23 | 21 | 20 |
| | IT-IS | SA | - | - | 48 | 42 | 39 | 38 |
| | IS-CO | SA | - | - | 23 | 21 | 20 | 19 |
| 20/mar | EM-IT | SA | - | - | 21 | 20 | 19 | 18 |
| | IT-IS | SA | - | - | 59 | 50 | 46 | 41 |
| | IS-CO | LGN | 2,985 | 0,106 | 22 | 22 | 21 | 20 |
| 31/mar | EM-IT | SA | - | - | 20 | 19 | 18 | 17 |
| | IT-IS | G | 33,592 | 1,427 | 62 | 59 | 53 | 47 |
| | IS-CO | SA | - | - | 24 | 23 | 21 | 20 |

* Os parâmetros são denominados de escalar (a) e de forma (b) para as fdp lognormal (LGN) e gama (G); e de média (a) e de desvio-padrão (b) para a fdp normal (N). SA, os dados não se ajustaram a nenhuma das fdp testadas

Para os dados de duração do ciclo verificou-se maior número de funções ajustadas proporcionalmente a duração das fases, sendo obtido ajuste em metade das datas de plantio simuladas (Tabela 5). As funções lognormal, normal e weibull ajustaram-se 4, 2 e 1

vez, respectivamente, acordando com os resultados obtidos por Trentin et al. (2013), em que também verificaram maior frequência de ajuste para a função lognormal em relação à duração do ciclo total de desenvolvimento da soja.

Tabela 5. Funções densidade de probabilidade (fdp) selecionadas e respectivos parâmetros utilizados na determinação da duração provável (dias) do ciclo de desenvolvimento da batateira nas datas de plantio compreendidas entre 01 de julho e 31 de agosto (primeira safra) e 01 de fevereiro a 31 de março (segunda safra), simuladas nos anos agrícolas de 1968/69 a 2015/16, em Santa Maria, RS

| | Datas de plantio | fdp | a* | b | Probabilidade | | | |
|----------------|------------------|-----|--------|--------|---------------|-----|-----|-----|
| | | | | | 95% | 90% | 75% | 50% |
| Primeira safra | 01/jul | W | 19,902 | 84,934 | 90 | 89 | 86 | 83 |
| | 10/jul | N | 79,256 | 4,943 | 87 | 86 | 83 | 79 |
| | 20/jul | N | 77,884 | 4,054 | 85 | 83 | 81 | 78 |
| | 01/ago | LGN | 4,338 | 0,048 | 83 | 81 | 79 | 77 |
| | 10/ago | SA | - | - | 82 | 80 | 76 | 74 |
| | 20/ago | LGN | 4,302 | 0,049 | 80 | 79 | 76 | 74 |
| | 31/ago | SA | - | - | 81 | 81 | 79 | 74 |
| Segunda safra | 01/fev | LGN | 4,404 | 0,062 | 91 | 89 | 85 | 82 |
| | 10/fev | SA | - | - | 90 | 88 | 84 | 78 |
| | 20/fev | SA | - | - | 84 | 82 | 79 | 75 |
| | 01/mar | SA | - | - | 87 | 83 | 80 | 76 |
| | 10/mar | SA | - | - | 87 | 83 | 80 | 76 |
| | 20/mar | SA | - | - | 96 | 91 | 83 | 77 |
| | 31/mar | LGN | 4,413 | 0,108 | 99 | 95 | 89 | 83 |

* Os parâmetros são denominados de escalar (a) e de forma (b) para as fdp lognormal (LGN) e weibull (W); e de média (a) e de desvio-padrão (b) para a fdp normal (N). SA, os dados não se ajustaram a nenhuma das fdp testadas

A duração total do ciclo e das fases, estimada com os diferentes níveis de probabilidade, demonstraram tendência similar à apresentada pelos valores médios. Além disso, a variação dos valores médios observados (Tabelas 1 e 2) foi similar à duração provável a 50% (Tabelas 4 e 5).

A partir das probabilidades, pode-se afirmar que, em 95% dos casos, ou seja, em 19 de cada 20 anos, no período de primeira safra, a maior duração das fases vegetativa e senescência da cultura

da batata ocorrem na data de plantio de 31 de agosto, com duração igual ou menor que 29 e 31 dias, respectivamente. Nessa probabilidade a maior duração da fase de tuberização ocorre no plantio de 01 de julho, com duração igual ou menor que 56 dias (Tabela 3). Esta interpretação pode ser aplicada às demais datas de plantio da primeira safra, da segunda safra (Tabela 4) e também para a duração do ciclo (Tabela 5).

Conclusões

1. Na primeira safra, à medida que se avança nas datas de plantio, ocorre encurtamento da fase de tuberização e aumento da fase senescência em resposta às altas temperaturas, acima da temperatura cardinal superior da planta.

2. Com o avanço das datas de plantio, no período de segunda safra, existe tendência de aumento da duração da fase de tuberização da batateira. Por outro lado, há redução da duração da fase vegetativa em função do fotoperíodo decrescente, associado à ocorrência de temperaturas elevadas nas primeiras datas de plantio.

3. A duração total do ciclo da cultura da batata, no período de primeira safra, diminui com o avanço da data de plantio. Para a segunda safra, o ciclo tende a ser mais curto nas datas de plantio entre 20 de fevereiro e 10 de março e maior nas datas de plantio extremas do período.
4. A função lognormal é a que mais frequentemente se ajustou à duração das fases e do ciclo da batateira.

Referências

- BISOGNIN, D.A. **Recomendações técnicas para o cultivo da batata no Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Santa Maria: Gráfica Universitária. 1996. 64p.
- BISOGNIN, D.A.; MÜLLER, D.R.; STRECK, N.A.; ANDRIOLO, J.; SAUSEN, D. Desenvolvimento e rendimento de clones de batata na primavera e no outono. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 43, n. 06, p. 699-705, 2008.
- BISOGNIN, D.A.; MÜLLER, D.R.; STRECK, N.A.; GNOCATO, F.S. Thermal sum of potato plants and tuber sprouting. **Ciência Rural**, v. 47, n. 10, e20160806, 2017.
- DELLAI, J.; TRENTIN, G.; BISOGNIN, D.A.; STRECK, N.A. Filocrono em diferentes densidades de plantas de batata. **Ciência Rural**, v. 35, n. 06, p. 1269-1274, 2005.
- ERPEN, L.; STRECK, N.A.; UHLMANN, L.O.; FREITAS, C.P.O.; ANDRIOLO, J.L. Tuberização e produtividade de batata-doce em função de datas de plantio em clima subtropical. **Bragantia**, v. 72, n. 4, p. 396-402, 2013.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FAGUNDES, J.D.; PAULA, G.M.; LAGO, I.; STRECK, N.A.; BISOGNIN, D.A. Aquecimento global: efeitos no crescimento, no desenvolvimento e na produtividade de batata. **Ciência Rural**, v. 40, n. 6, p. 1464-1472, 2010.
- HELDWEIN, A.B.; STRECK, N.A.; BISOGNIN, D.A. Batata. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos Cultivos** - O Fator Meteorológico na Produção Agrícola. Brasília: INMET, 2009. p. 93-108.
- HELDWEIN, A.B.; BURIOL, G.A.; STRECK, N.A. O clima de Santa Maria. **Ciência & Ambiente**, v. 38, p. 43-58, 2009.
- IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**
<<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6588#resultado>>. 28 jun. 2019.
- KIESLING, T. C. Calculation of the length of the day. **Agronomy Journal**, v. 74, n. 04, p. 758-759, 1982.
- KOOMAN, P.L.; FAHEMC, M.; TEGERAD, P.; HAVERKORTA, A.J. Effects of climate on different potato genotypes 2. Dry matter allocation and duration of the growth cycle. **European Journal of Agronomy**. v. 05, n. 3-4, p. 207-217, 1996.
- PAULA, F.L.M.; PAULA, STRECK, N.A.; HELDWEIN, A.B.; BISOGNIN, D.A.; PAULA, A. L.; DELLAI, J. Soma térmica de algumas fases do ciclo de desenvolvimento da batata (*Solanum tuberosum* L.). **Ciência Rural**, v. 35, n. 05, p. 1034-1042, 2005.
- PEREIRA, A.S.; DANIELS, J.; FREIRE, C.J.S.; BERTONCINI, O.; NAZARENO, N.R.X.; BRISOLLA, A.D.; SALLES, L.A.B.; MADAIL, J.C.M. Produção de batata no Rio Grande do Sul. EMBRAPA Clima Temperado. **Circular Técnica 48**. 2005. 14 p.

RAMOS, A.M.; SANTOS, L.A. R.; FORTES, L.T.G. **Normais climatológicas do Brasil 1961 - 1990**. Edição revista e ampliada. Brasília: INMET, 2009. 465 p.

SILVA, J.C.; HELDWEIN, A.B, TRENTIN, G.; STRECK, N.A.; MARTINS, F.B. Funções de distribuição de probabilidade decendial e mensal para a deficiência hídrica no solo. **Ciência Rural**, v. 38, n. 07, p. 1893-1899, 2008.

SILVA, L.A.S.; PINTO, C.A.B.P.; ALVES, J.D.; BENITES, F.R.G.; ANDRADE, C.M.; RODRIGUES, G.B.; LEPRE, A.L.; BHERING, L.L. Caracterização morfofisiológica de clones precoces e tardios de batata visando à adaptação a condições tropicais. **Bragantia**, v. 68, n. 02, p. 295-302, 2009.

STRECK, N.A.; LAGO, I.; ALBERTO, C.M.; BISOGNIN, D.A. Simulação do desenvolvimento da batata cultivar Asterix em cinco cenários de mudanças climáticas em Santa Maria, RS. **Bragantia**, v. 65, n. 04, p. 693-702, 2006.

STRECK, N.A.; STRECK, N.A.; PAULA, F.L.M.; BISOGNIN, D.A.; HELDWEIN, A.B; DELLAI, J. Simulating the development of field grown potato (*Solanum tuberosum* L.). **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 142, n. 01, p. 1-11, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2013. 954p.

TRENTIN, R.; HELDWEIN, A.B; STRECK, N.A; TRENTIN, G.; SILVA, J.C. Subperíodos fenológicos e ciclo da soja conforme grupos de maturidade e datas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n. 07, p.703-713, 2013.

ZANON, A.J.; STRECK, N.A.; KRÄULICH, B.; SILVA, M.R.; BISOGNIN, D.A.

Desenvolvimento das plantas e produtividade de tubérculos de batata em clima subtropical. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 04, p. 858-868, 2013.