

Simulação da produtividade de tubérculos de batata em ambientes subtropical e temperado

Nereu Augusto Streck¹, Alencar Junior Zanon², Dílson Antônio Bisognin¹, Zilmar da Silva Souza³, Joelma Dutra Fagundes⁴, Cleber Maus Alberto⁵

Resumo – A modelagem matemática é uma ferramenta importante em tomada de decisões para o manejo das culturas agrícolas. A batata (*Solanum tuberosum*) é uma cultura importante no Brasil, mas são escassos os trabalhos com modelos de simulação dessa cultura em nossas condições, especialmente na Região Sul. O objetivo deste estudo foi ajustar e avaliar modelos estatísticos para simulação da produtividade de tubérculos de batata, em Santa Maria, Rio Grande do Sul (clima subtropical), e São Joaquim, Santa Catarina (clima temperado). Foram avaliados seis modelos, selecionados na literatura. Para Santa Maria, foram usadas as datas de plantio 28/02, 27/03, 12/08, 15/09, 15/10, 20/11/2003, para ajustar os modelos, e as datas 21/01, 12/02, 24/12/2003 e 28/01, 27/02, 26/03, 26/04/2004, para testá-los. Foram utilizados também dados de produtividade de 35 cultivares de São Joaquim, onde não foi realizado o ajuste dos modelos por haver apenas um cultivo ao ano. A estatística utilizada para seleção dos modelos foi a raiz do quadrado médio do erro. Os modelos com os coeficientes originais apresentaram a mesma tendência de desempenho, na simulação da produtividade de tubérculos de batata, para Santa Maria e São Joaquim, sendo os modelos de Hartz e Moore, Johnson e colaboradores, e Pereira e colaboradores, os que tiveram o melhor desempenho. O modelo de Sands e colaboradores é o que melhor prediz a produtividade de tubérculos de batata, seguido pelos modelos de Pereira e colaboradores, e MacKerron & Waister.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum*. Modelagem matemática. Modelos estatísticos.

Simulating potato tuber yield in subtropical and temperate environments

Abstract – Crop models are important tools for decision-making in different agricultural crops. Potato (*Solanum tuberosum*) is an important crop in Brazil, but studies with potato simulation models in Brazil, mainly in the South, are scarce. This study aimed to calibrate and evaluate statistical models for simulating potato tuber yield in Santa Maria, Rio Grande do Sul (subtropical climate) and São Joaquim, Santa Catarina (temperate climate). Six models from literature were evaluated. In Santa Maria, the planting dates of 02/28, 03/27, 08/12, 09/15, 10/15, 11/20/2003 were used to calibrate the models, and the planting dates of 01/21, 02/12, 12/24/2003 and 01/28, 02/27, 03/26, 04/26/2004 were used to evaluate the models. Yield data of 35 cultivars grown in five years in São Joaquim were also used to evaluate the original version of the models. The statistics used for selection of models was the root mean square error. Models with the original coefficients had the same performance in simulating potato yield in Santa Maria and São Joaquim, with the Hartz and Moore, Johnson and others, and Pereira and others models having the best performance. After calibration, the Sands and others model had the best performance followed by the models of Pereira and others, and MacKerron and Waister.

Key-words: *Solanum tuberosum*. Mathematical modeling. Statistical models.

Introdução

No sul do Brasil, o cultivo da batata é realizado em regiões de clima subtropical e temperado, sendo que, em regiões subtropicais, como na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul, são realizados dois cultivos anuais (um no outono e outro na primavera), enquanto nas regiões temperadas, como na Serra Gaúcha e na Serra Catarinense, é possível apenas um cultivo anual, no verão (BISOGNIN, 2008; HELDWEIN;

STRECK e BISOGNIN, 2009). Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC) produzem 9,6 e 3,1% da produção nacional, respectivamente (IBGE, 2014). Uma situação importante das áreas cultivadas com batata, em SC e no RS, é que se concentram em pequenas propriedades familiares.

A utilização de modelos matemáticos é uma ferramenta importante para auxiliar o entendimento da

Manuscrito submetido em 04/11/2014 e aceito para publicação em 28/04/2015

¹Engenheiro Agrônomo, Doutor. Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, Campus Universitário, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mails: nstreck1@smail.ufsm.br, dbisognin@gmail.com.

²Engenheiro Agrônomo, Mestre. Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, Campus Universitário, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: alencarzanon@yahoo.com.br. Autor para correspondência.

³Engenheiro Agrônomo, Doutor. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão de Santa Catarina, Estação Experimental de São Joaquim, Rua João Araújo Lima, 102, Jardim Caiçara, 88600000, São Joaquim, SC, Brasil. E-mail: zilmar99@brturbo.com.br.

⁴Bióloga, Doutora. Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, Campus Universitário, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: jdfagundes@hotmail.com.

⁵Engenheiro Agrônomo, Doutor. Universidade Federal do Pampa, Rua Luiz Joaquim de Sá Britto, S/N, Campus Universitário, 97650-000, Itaqui, RS, Brasil. E-mail: cleberalberto@unipampa.edu.br.

dinâmica dos cultivos agrícolas. Modelos matemáticos são representações simplificadas de processos ou sistemas e, no caso de modelos agrícolas, permitem descrever a dinâmica das culturas agrícolas, cultivadas em diferentes condições ambientais e de manejo. Os modelos agrícolas são constituídos por funções matemáticas que, com seus coeficientes, representam numericamente os principais processos fisiológicos envolvidos na produção agrícola (MONTEITH, 1996).

A produtividade das culturas agrícolas pode ser entendida como o resultado dos processos de desenvolvimento e crescimento das plantas durante a estação de cultivo e, portanto, muitos modelos de simulação da produtividade das culturas são constituídos de submodelos de desenvolvimento e crescimento. Desenvolvimento e crescimento de plantas são processos independentes, que podem ocorrer simultaneamente ou não. Essa abordagem, que considera processos de desenvolvimento e crescimento, dá um caráter mais mecanístico à simulação, permitindo não apenas a análise do resultado final, mas também o aprendizado com os processos que levam à produtividade da cultura. Com modelos estatísticos ajustados e testados para os diferentes ambientes em que as espécies agrícolas são cultivadas, podem-se fazer simulações, em longo prazo e a baixo custo. Pode-se, assim, progredir no conhecimento da cultura e de suas interações com o ambiente e esclarecer aspectos em que o conhecimento ainda é limitado ou tem lacunas (THORNLEY, 1976).

Tendo em vista a importância socioeconômica da cultura da batata, são pertinentes o ajuste e a avaliação de modelos de simulação da produtividade, mas são escassos esses tipos de trabalho nas condições do Brasil. Os poucos trabalhos encontrados foram realizados nas condições da região sudeste do Brasil (PEREIRA et al., 2008), não tendo sido ainda realizados para a região sul do país. No intuito de preencher essa lacuna, o objetivo deste estudo foi ajustar e avaliar modelos estatísticos para simulação da produtividade de tubérculos de batata, em Santa Maria, RS (região com clima subtropical), e São Joaquim, SC (região com clima temperado).

Material e Métodos

Foram utilizados dados de produtividade de tubérculos de batata de cultivos em Santa Maria, RS (29°43'S, 53°43'W, 95 m), e São Joaquim, SC (28°17'S, 49°55'W, 1353 m). Esses locais foram usados por apresentarem climas diferentes e distintas épocas de cultivo da batata. Em Santa Maria, que apresenta clima Cfa (subtropical úmido com verão quente) pela classificação de Köppen (KÖPPEN e GEIGER, 1928), foram realizados dois cultivos anuais, o de primavera, ou "safra", e o de outono, ou "safrinha" (BISOGNIN, 2008). Em São Joaquim, que tem clima Cfb (temperado marítimo úmido) pela classificação de Köppen (KÖPPEN e GEIGER, 1928), foi realizado um cultivo anual (SOUZA, 2004).

Em Santa Maria, foram utilizados dados de produtividade de 13 datas de plantio, durante os anos de 2003 e 2004 (no ano 2003, as datas de plantio foram 21/01, 12/02, 28/02, 27/03, 12/08, 15/09, 15/10, 20/11 e 24/12, e, no ano 2004, as datas de plantio foram 28/01,

27/02, 26/03 e 26/04) com o cultivar Asterix, de ciclo médio, com características apropriadas para consumo de mesa e processamento (NIVAA, 1997), bastante cultivado no Rio Grande do Sul. Em São Joaquim, foram usados dados de produtividade de 35 cultivares do Programa de Melhoramento de Batata da Epagri/Estação Experimental de São Joaquim, em cinco anos agrícolas 2000-01, 2002-03, 2003-04, 2004-05 e 2005-06, com cultivares de diferentes ciclos, alguns cultivados em somente um ano e outros em mais de um ano (Tabela 1).

Foram utilizados os modelos de Hartz e Moore (1978), Sands; Hackett e Nix (1979), Mackerron e Waister (1985), Johnson; Johnson e Teng (1986), Spitters (1987) e Pereira et al. (2008), descritos abaixo.

O modelo de Hartz e Moore (1978) é um modelo linear polinomial que, para a variável produtividade de tubérculos de batata, é definido por:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \xi$$

em que Y é a produtividade de tubérculos de batata (g planta⁻¹), X₁ é a soma térmica (°C dia), X₂ é a densidade de fluxo de radiação solar incidente (cal cm⁻² dia⁻¹) e X₃ é a amplitude térmica diária (°C).

O modelo de Sands; Hackett e Nix (1979) simula a produtividade de tubérculos de batata, por:

$$Y(P) = 0 \quad P < P_{tg}$$

$$Y(P) = B (P_{mb} - P_{tg}) (1 - \frac{P}{3})^2 \quad P_{tg} \leq P < P_{mb}$$

$$P_{mb} \leq P < P_{cb}$$

$$Y(P) = \left(\frac{2B}{3}\right) (P_{cb} - P_{tg}) \quad P_{cb} \leq P$$

em que Y é a produtividade de tubérculos de batata (t ha⁻¹), P é o tempo (dias), B é a taxa máxima de crescimento de tubérculos e P_{mb}, P_{tg} e P_{cb} são as idades (dias) em que ocorreu o máximo crescimento, início do crescimento e término do crescimento de tubérculos, respectivamente.

O modelo de Mackerron e Waister (1985) simula a produtividade de tubérculos de batata em função da radiação solar interceptada e a partição de matéria seca entre a parte aérea e os tubérculos, por:

$$Y = 5 \cdot T$$

em que Y é a produtividade de tubérculos de batata (t ha⁻¹) e T partição de matéria seca.

O modelo de Johnson; Johnson e Teng (1986) leva em consideração a força de dreno do tubérculo, sendo dado por:

$$dT = k5 \cdot \left(\frac{TUBER}{TUBER + k1}\right)$$

em que dT é a variável que calcula a força de dreno do tubérculo, TUBER representa a parte da planta, k1 é a constante que se assemelha à metade da saturação da resposta na equação de Michaelis-Menten e k5 é o parâmetro de partição.

O modelo de Spitters (1987) simula a produtividade de tubérculos de batata em função da biomassa total e da fração de matéria seca alocada para os tubérculos, por:

$$Y_t = HI_t \cdot W_t$$

m que Y_t é a produtividade de tubérculos de batata (kg ha⁻¹), HI_t é o índice de colheita (fração total da matéria seca

alocada para os tubérculos) e W_i é a biomassa total (kg ha^{-1}).

O modelo de Pereira et al. (2008) é baseado na taxa máxima de assimilação de dióxido de carbono, radiação fotossinteticamente ativa e parâmetros fitotécnicos, como índice de área foliar, índice de colheita e duração do ciclo fenológico, em que EPY é a produtividade potencial de tubérculos de batata (t ha^{-1}), CDA é a taxa de assimilação de dióxido de carbono ($\mu\text{L cm}^{-2} \text{h}^{-1}$), LAI é índice de área foliar máximo, GS é o número de dias do ciclo, N é fotoperíodo médio (h), C(LAI) é o fator de correção do índice de área foliar, C(T) é o fator de correção da respiração de manutenção, HI é o índice de colheita e DM é o conteúdo de matéria seca dos tubérculos. Para uniformizar a unidade de produtividade de tubérculos de batata, simulada pelos diferentes modelos, a produtividade foi expressa em t ha^{-1} .

Os modelos foram primeiramente testados, usando-se os coeficientes originais, disponíveis nas publicações descritas acima. No teste dos modelos foram usados, como dados independentes, os dados de produtividade de tubérculos, obtidos nos experimentos de campo, oriundos das 13 datas de plantio, em Santa Maria, RS, e dos cinco anos de cultivos, em São Joaquim, SC. Essa avaliação dos modelos com os coeficientes originais permite a avaliação da capacidade preditiva dos modelos para diferentes genótipos de batata, cultivados em ambientes distintos daqueles em que os modelos foram desenvolvidos.

Os modelos foram, a seguir, também ajustados para as condições de cultivo em Santa Maria, RS, com o cultivar Asterix. Para o ajuste dos modelos, foram utilizados dados de produtividade de seis datas de plantio em 2003 (28/02, 27/03, 12/08, 15/09, 15/10, 20/11) e consistiu na estimativa dos coeficientes com o método dos mínimos quadrados, utilizando-se o SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 2002). A significância no ajuste dos parâmetros foi de 5% e o tamanho da amostra variou, em função do número de repetições de cada experimento. O número de interações usadas para a estimativa dos coeficientes variou com o tipo de modelo. Para esta calibração, foi primeiramente

realizada a análise de sensibilidade dos modelos em Santa Maria, aumentando-se e diminuindo-se o valor dos coeficientes, de 50 a 150% em relação ao valor original de cada coeficiente, relatado nos artigos originais, com intervalos de 10%. Essa análise de sensibilidade permitiu que se identificassem os coeficientes que mais afetam a produtividade de tubérculos, os quais devem ser ajustados para esse cultivar. Já para os coeficientes que não afetam a produtividade, os valores originais foram utilizados, visto que não há interferência nos resultados. Considerou-se que, quando a produtividade variou em menos de 2 t ha^{-1} , na análise de sensibilidade de cada coeficiente, esse coeficiente não foi dependente do genótipo e, portanto, o valor original foi usado no modelo. Para São Joaquim, havia dados de produtividade somente de uma data de plantio em cada ano, o que impossibilitou o ajuste dos modelos.

Após o ajuste, os modelos foram testados para Santa Maria, com os coeficientes ajustados para o cultivar Asterix (Tabela 2), usando-se os dados independentes das sete datas de plantio (21/01/2003, 12/02/2003, 24/12/2003, 28/01/2004, 27/02/2004, 26/03/2004 e 26/04/2004). A estatística utilizada para avaliar o desempenho dos modelos (versão original e versão calibrada) foi à raiz do quadrado médio do erro (RQME), calculada como (JANSSEN e HEUBERGER, 1995):

$$RQME = \left[\frac{\sum (p_i - o_i)^2}{N} \right]^{0,5}$$

em que p_i são os valores simulados, o_i são os valores observados e N é o número de observações. Optou-se por usar a estatística RQME, em lugar de outras estatísticas, como o R^2 (STRECK et al., 2010; WALTER et al., 2012), sendo o valor dessa estatística de fácil interpretação, já que representa o erro médio da variável estimada pelo modelo, com a mesma unidade de medida da variável estimada, que, neste caso, é a produtividade de tubérculos de batata (t ha^{-1}). Quanto menor o RQME, melhor é o desempenho do modelo. Além de calcular a RQME, gráficos de valores simulados *versus* observados

Tabela 1. Raiz do quadrado médio do erro (RQME, t ha^{-1}) da produtividade de tubérculos de vários cultivares de batata nos anos agrícolas 2000-01, 2002-03, 2003-04, 2004-05 e 2005-06 em São Joaquim, SC, simulada com os coeficientes originais dos seis modelos

Ano agrícola	Modelos de simulação da produtividade					
	Hartz & Moore (1978)	Sands et al. (1979)	MacKerron & Waister (1985)	Johnson et al. (1986)	Spitters (1987)	Perreira et al. (2008)
2000-01 ¹	6,9	61,0	17,7	5,8	12,8	6,6
2002-03 ²	9,2	50,8	21,9	8,5	16,9	10,9
2003-04 ³	4,9	53,7	18,4	7,8	11,9	6,6
2004-05 ⁴	8,2	53,7	11,6	6,5	5,4	4,3
2005-06 ⁵	9,1	52,8	24,9	11,7	19,2	13,5

¹Cultivares no ano 2000-01: Amorosa, Araucária, Bolesta, Estima, Eliza, Markies, Recent, Sinora, Monalisa, Asterix, Junior, Kuroda, Romano, EESJ 89229, EESJ 90428, SW 1037, SW 1140, Synfonia, Velox, Catucha. ²Cultivares no ano 2002-03: Ágata, Asterix, Baronesa, Brador, Caesar, Cicklamen, EESJ 90439, Cota, Eliza, EESJ 99729, EESJ 89239, EESJ 86575, Synfonia, Velox, Vivaldi, White Lady, Baraka, Monalisa. ³Cultivares no ano 2003-04: Ágata, Asterix, Caesar, Cicklamen, Elisa, EESJ 99729, Synfonia, Velox, Vivaldi, White Lady, Baraka, Monalisa. ⁴Cultivares no ano 2004-05: Achat, Ágata, Asterix, Caesar, Cupido, Monalisa, Synfonia, Velox, Vivaldi, White Lady. ⁵Cultivares no ano 2005-06: Ágata, Asterix, Caesar, Cupido, Melody, Monalisa, Mondial, Velox, Vivaldi.

Tabela 2. Coeficientes dos modelos de simulação da produtividade de tubérculos de batata ajustados para o cultivar Asterix

Modelos	Descrição dos coeficientes	Coeficientes ajustados
Hartz & Moore (1978)	Coeficientes da equação linear	$a = -3889,73$, $b = 3,58$,
	polinomial (a, b, c e d)	$c = -0,05$ e $d = 249,15$
Sands et al. (1979)	Escala para medir a taxa de acumulação do tempo (k)	$k = 4,67$
MacKerron & Waister (1985)	Temperatura base (Tb)	$Tb = 7$
	Partição de matéria seca para tubérculos	0,31
Johnson et al. (1986)	Constante que se assemelha à metade de saturação na equação de Michaelis-Menten (K1)	$k1 = 45,5$
	Constante utilizada no cálculo de partição de matéria seca para os tubérculos (K5)	$K5 = 7,87$
	Força dreno do tubérculo (TUBER)	$TUBER = 0,46$
Spitters (1987)	Uso eficiente da radiação (UER)	$UER = 4,72$
	Duração do ciclo (m)	$m = 9,5$
Pereira et al. (2008)	Taxa máxima de assimilação de dióxido de carbono (CDA_{Max})	$CDA_{Max} = 45,85$
	Índice de área foliar (IAF)	$IAF = 4,26$
	Índice de colheita (HI)	$HI = 0,58$
	Fator de correção da respiração de manutenção (C(T))	$C(T) = 0,58$

foram confeccionados, para os modelos testados com coeficientes originais e calibrados.

Resultados e Discussão

As condições meteorológicas e os diferentes cultivares de batatas, em Santa Maria e em São Joaquim, influenciaram nas diferenças entre as estimativas da produtividade com os distintos modelos de simulação da produtividade de tubérculos de batata. Para Santa Maria, e considerando-se as 13 datas de plantio do cultivar Asterix com os coeficientes originais dos modelos, o menor RQME foi obtido com o modelo de Johnson; Johnson e Teng (1986); o modelo de Pereira et al. (2008) teve o segundo menor RQME (Tabela 1). O modelo de Spitters (1987) apresentou bom desempenho na Holanda (WOLF, 2002), sendo bastante usado na Europa em estudos sobre o efeito da mudança climática na cultura da batata (CARTER; SAARIKKO e JOUKAINEN, 2000; HARRISON; BUTTERFIELD e ORR, 2000). Já os modelos de Sands; Hackett e Nix (1979) e Mackerron e Waister (1985) foram os que apresentaram os maiores valores de RQME, respectivamente.

O modelo de Pereira et al. (2008) destacou-se no ano agrícola 2003-04, quando o valor de RQME foi o menor valor dentre os modelos e anos agrícolas (Tabela 1). O modelo de Mackerron e Waister (1985), assim como o modelo de Spitters (1987) e Pereira et al. (2008), subestimaram a produtividade de tubérculos de batata, diferentemente do que ocorreu para Santa Maria, onde foi o modelo de Mackerron e Waister (1985) superestimou a produtividade. O modelo de Sands; Hackett e Nix (1979), em São Joaquim, assim como em Santa Maria, apresentou os mais elevados valores de RQME, como pode ser observado na Tabela 1, nos cinco anos de cultivo, com predomínio de superestimativa da produtividade de tubérculos de todos os cultivares de batata. Por esses resultados, pode-se afirmar que este, apesar de ser um modelo empírico simples e ter poucos coeficientes, prediz razoavelmente a produtividade de tubérculos de batata.

Os coeficientes dos modelos ajustados para o cultivar Asterix estão listados na Tabela 2. Esse ajuste representa um avanço para modelagem da produtividade de batata no Rio Grande do Sul, pois, dos seis modelos testados neste trabalho, apenas o modelo de Pereira et al. (2008) já fora testado no Brasil e nas condições de cultivo da região sudeste. A comparação entre os desempenhos dos modelos, com os coeficientes originais e com coeficientes ajustados, após o ajuste para o conjunto de dados independentes de sete datas de plantio do cultivar Asterix, em Santa Maria, indicaram que os modelos originais são até melhores do que os ajustados para a predição, em alguns casos (Figura 1). O modelo de Hartz e Moore (1978), após o ajuste, apresentou um valor de RQME bastante elevado, se comparado ao do modelo

com os coeficientes originais, com uma diferença de 9,9 t ha⁻¹ na estimativa da produtividade de tubérculos de batata (Figura 1a e 1g). Esse resultado foi surpreendente, pois se esperava melhor desempenho do modelo, após o ajuste para as condições locais. Uma possível explicação para esse resultado é que, por ser um modelo empírico, as estimativas dos coeficientes nas datas de plantio são distantes daquelas de datas de plantio, usadas como dados independentes, indicando pequena capacidade preditiva de modelos empíricos, em condições diferentes daquelas em que foram ajustados, conforme observado em trabalhos com outras culturas agrícolas (KLERING; FONTANA e CARGNELUTTI FILHO, 2008). O modelo de Johnson; Johnson e Teng (1986), após o ajuste, também apresentou um valor de RQME mais elevado, se comparado ao do modelo com os coeficientes originais (Figura 1d e 1j).

Com os outros modelos, houve melhora na estimativa da produtividade de tubérculos de batata, após o ajuste. A melhora mais pronunciada ocorreu com os modelos de Sands; Hackett e Nix (1979) e Mackerron e Waister (1985) que apresentaram uma redução significativa do RQME após o ajuste dos coeficientes.

Os modelos de Spitters (1987) e Pereira et al. (2008) não apresentaram grandes diferenças nos valores de RQME entre os coeficientes originais e os coeficientes ajustados (Figura 1e, 1f, 1l e 1m). O modelo de Spitters (1987), tanto com os coeficientes originais, quanto com os ajustados, subestimou a produtividade de tubérculos de batata (Figura 1e e 1l). Já o modelo de Pereira et al. (2008) apresentou uma melhora na estimativa da produtividade. O último é um modelo mecanístico, o que, possivelmente, contribuiu para a melhor predição da produtividade, se comparado ao modelo de Spitters (1987).

A análise final e geral dos resultados indica, primeiro, a dificuldade de se estimar a produtividade de tubérculos de batata, já que os menores erros nas estimativas foram 4,3 t ha⁻¹, para São Joaquim (Tabela 1), e 3,9 t ha⁻¹, para Santa Maria (Figura 1), erros que são aceitáveis, já que a produtividade geralmente alcançada nessas regiões está entre 20 e 30 t ha⁻¹, mas que certamente podem e devem ser minorados. Segundo, os resultados são importantes, pois representam a primeira tentativa de se ter modelos de previsão de rendimento de batata, nas condições do RS e SC. Sugere-se, como próximo passo, realizar novos experimentos com outros cultivares de batata, nos quais deve-se ter especial atenção, ao investir tempo e recursos para medir algumas variáveis adicionais ao rendimento de tubérculos, para ajudar no ajuste dos modelos, como a evolução do índice de área foliar e a curva de crescimento dos tubérculos.

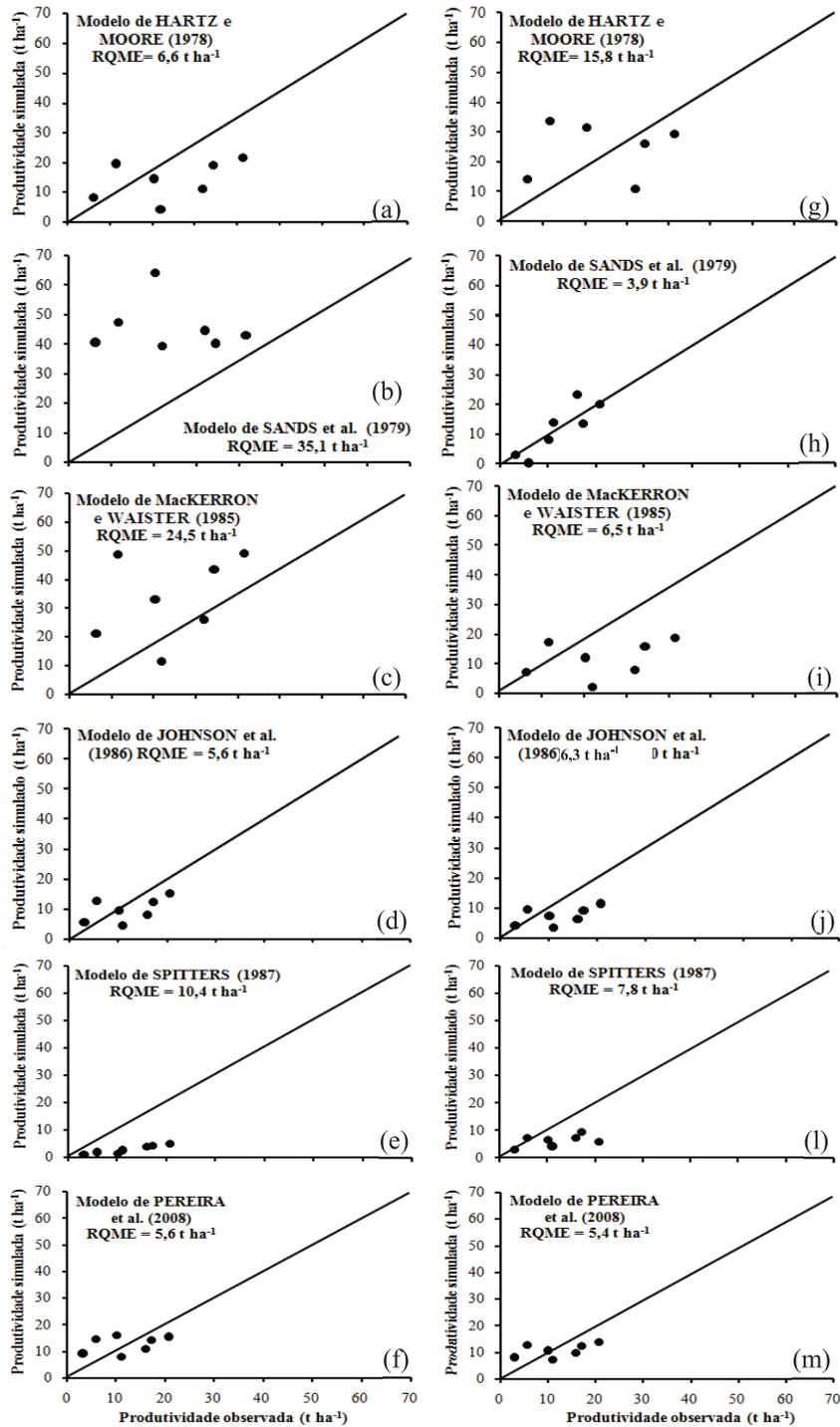


Figura 1. Produtividade de tubérculos simulada *versus* observada do cultivar Asterix em sete datas de plantio (21/01/03, 12/02/03, 24/12/03, 28/01/04, 27/02/04, 26/03/04 e 26/04/04) em Santa Maria, RS, com os coeficientes originais (a, b, c, d, e, f) e coeficientes ajustados (g, h, i, j, l, m). RQME = raiz do quadrado médio do erro. A linha diagonal é a linha 1:1.

Conclusões

Os modelos com os coeficientes originais apresentaram a mesma tendência, na simulação da produtividade, em Santa Maria e em São Joaquim, sendo os modelos de Hartz e Moore (1978), Johnson; Johnson e Teng (1986) e Pereira et al. (2008), respectivamente, os que melhor predisseram a produtividade.

Após o ajuste dos coeficientes, o modelo de Sands; Hackett e Nix (1979) é o que melhor prediz a produtividade de tubérculos de batata em Santa Maria, seguido pelos modelos de Pereira et al. (2008) e de Mackerron e Waister (1985).

Referências

- BISOGNIN, D. A. **Recomendações técnicas para o cultivo da batata no Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Santa Maria: UFSM, 2008. 64 p.
- CARTER, T. R.; SAARIKKO, R. A.; JOUKAINEN, S. K. H. Modelling climate change impacts on wheat and potato in Finland. In: DOWNING, T. E.; HARRISON, P. A.; BUTTERFIELD, R. E.; LONSDALE, K. G. (Eds.) **Climate change, climatic variability and agriculture in Europe: an integrated assessment**. Oxford: Environmental Change Institute, 2000. p. 289-312. (Research report 21).
- HARRISON, P.A.; BUTTERFIELD, R.E.; ORR, J. L. Modelling climate change impacts on wheat, potato and grapevine in Europe. In: DOWNING, T.E.; HARRISON, P.A.; BUTTERFIELD, R. E.; LONSDALE, K. G. (Eds.) **Climate change, climatic variability and agriculture in Europe: an integrated assessment**. Oxford: Environmental Change Institute, 2000. p. 367-390. (Research report, 21).
- HARTZ, T. K.; MOORE, F. D. Prediction of potato yield using temperature and insolation data. **American Potato Journal**, v. 55, p. 431-436. 1978
- HELDWEIN, A. B.; STRECK, N. A.; BISOGNIN, D. A. Batata. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Ed). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: INMET, 2009. p. 93-108. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 29 set. 2014.
- JANSSEN, P. H. M.; HEUBERGER, P. S. C. Calibration of process-oriented models. **Ecological Modelling**, v. 83, p. 55-56, 1995.
- JOHNSON, K. B.; JOHNSON, S. B.; TENG, P. S. Development of a simple potato growth model for use in crop-pest management. **Agricultural Systems**, v. 19, p. 189-209, 1986.
- KLERING, E. V.; FONTANA, D. C.; CARGNELUTTI FILHO, A. Modelagem agrometeorológica do rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 549-558, 2008.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928. Wall-map 150cmx200cm.
- MACKERRON, D. K. L.; WAISTER, P. D. A simple model of potato growth and yield. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 34, p. 241-252, 1985.
- MONTEITH, J. L. The quest for balance in crop modeling. **Agronomy Journal**, v. 88, p. 695-697, 1996
- NIVAA. **Catálogo holandês de variedades de batata**. Haarlem: Boom-Planeta, 1997. 270 p.
- PEREIRA, A. B. et al. Potato potential yield based on climatic elements and cultivar characteristics. **Bragantia**, v. 67, p. 327-334, 2008.
- SANDS, P. J.; HACKETT, C.; NIX, H. A. A model of the development and bulking of potatoes (*Solanum tuberosum* L.): I. derivation from well-managed field crops. **Field Crops Research**, v. 2, p. 309-331. 1979.
- STRECK, N. A. et al. Simulating leaf appearance in a maize variety. **Bioscience Journal**, v. 23, p. 384-393, 2010.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM (SAS): Getting Started with the SAS® Learning Edition. Cary, NC, SAS Institute. 2002. 86 p.
- SOUZA, Z. S. Cultura da Batata na EPAGRI em Santa Catarina. **Revista Batata Show**, v. 4, p.1-24, 2004. Disponível em: <http://www.abbatatabrasileira.com.br/revista_10_016.htm/>. Acesso em: 08 set. 2014.
- SPITTERS, C. J. T. An analysis of variation in yield among potato cultivars in terms of light absorption, light utilization and dry matter partitioning. **Acta Horticulturae**, v. 214, p. 71-84, 1987.
- THORNLEY, J. H. M. **Mathematical models in plant physiology: a quantitative approach to problems in plant and crop physiology**. London: Academic Press, 1976. 318 p.
- WALTER, L. C. et al. Adaptação e avaliação do modelo InfoCrop para simulação do rendimento de grãos da cultura do arroz irrigado. **Engenharia Agrícola**, v. 32, p. 510-521, 2012.
- WOLF, J. Comparison of two potato simulation models under climate change. I. Model calibration and sensitivity analyses. **Climate Research**, v. 21, p. 173-186, 2002.
- PESQ. AGROP. GAÚCHA, Porto Alegre, v.21, ns.1/2, p. 49-55, 2015