

LOPES CA; SILVA GO; CRUZ EM; ASSAD E; PEREIRA AS. 2011. Uma análise do efeito do aquecimento global na produção de batata no Brasil. *Horticultura Brasileira* 29: 7-15.

Uma análise do efeito do aquecimento global na produção de batata no Brasil

Carlos A Lopes¹; Giovani O da Silva²; Eduardo M Cruz¹; Eduardo D Assad³; Arione da S Pereira⁴

¹Embrapa Hortaliças, C. Postal 218, 70351-970 Brasília-DF; ²Embrapa SNT-EN Canoinhas, C. Postal 317, 89460-000 Canoinhas-SC; ³Embrapa Informática Agropecuária, Av. Soldado Passarinho 303, Fazenda Chapadão, 13070-115 Campinas-SP; ⁴Embrapa Clima Temperado, C. Postal 403, Pelotas-RS; clopes@cnph.embrapa.br; olegario@cnph.embrapa.br; eduardomc@cnph.embrapa.br; assad@cnptia.embrapa.br; arione@cpact.embrapa.br

RESUMO

Face às prováveis mudanças climáticas afetando as áreas agrícolas do planeta, foi feita uma revisão bibliográfica sobre os efeitos do aumento da temperatura no metabolismo da planta de batata, enfatizando suas consequências no desenvolvimento vegetativo e na produtividade da cultura. Embora a ênfase maior desse artigo se prenda ao efeito do clima na redução de alimentos, alerta-se ainda para o risco de erosão genética pelo desaparecimento de espécies silvestres, de grande importância para programas de melhoramento genético. A partir dessas informações e de dados climáticos das regiões produtoras publicados em literatura nacional, foi realizada uma análise prospectiva da produção de batata no Brasil. Para tal, tomou-se como base o aumento da temperatura de até 5°C até o final deste século e uma faixa ótima de produtividade da batata de 10°C a 25°C, conforme indicado em literatura especializada. Foram selecionados seis municípios representando as regiões geográficas onde se cultiva a batata: São Joaquim-SC; Guarapuava-PR; Cristalina-GO; Mucugê-BA; Vargem Grande do Sul-SP e Araxá-MG. Para municípios com prevalência de temperaturas mais baixas, como São Joaquim, o aumento de temperatura preconizado não deverá restringir a produção, porém serão necessárias adequações de épocas de plantio. Por outro lado, a situação é preocupante em regiões e épocas de cultivo sujeitas a temperaturas altas, como Mucugê e Cristalina, onde o cultivo deverá se restringir a poucos meses do ano, contrastando com o plantio contínuo, durante o ano todo, ora sendo realizado. O intuito deste artigo é alertar, e não alarmar, a cadeia produtiva de batata no sentido de se preparar para os ajustes fitotécnicos visando a preservar a bataticultura nacional face a um eventual aquecimento global. Considerações sobre o melhoramento genético para atenuar, pelo menos em parte, esta situação é discutida.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum*, fisiologia da produção, temperatura, mudança climática.

ABSTRACT

An analysis of the potato production in Brazil upon global warming

The future of the potato production in Brazil is discussed upon prediction of temperature rise due to global warming. A literature review was carried out on the effects of high temperatures on the potato plant metabolism, and their consequences upon vegetative development and yield. Although higher emphasis was devoted to the climate effect on food production, the risk of genetic erosion by disappearance of wild species is stressed, with consequences to the future of plant breeding. Based on this information and on climate data from the main growing regions published on Brazilian documents, we carried out a prospective analysis of the potato production in Brazil. For that, a temperature rise of up to 5°C was considered to the end of the century, and the range of 10°C to 25°C as the optimum for potato growth, according to specialized literature. For the study, six counties, representative of the main growing regions, were selected: São Joaquim, Santa Catarina State; Guarapuava, Paraná State; Cristalina, Goiás State; Mucugê, Bahia State; Vargem Grande do Sul, São Paulo State and Araxá, Minas Gerais State. For cooler counties, such as São Joaquim, major drawbacks on potato production are not expected, even though adjustments in planting season should be required. However, cropping on those counties subject to high temperatures which today allow potato production all year round, like Mucugê, and Cristalina, is expected to be restricted to few months of the year. The aim of this article was to alert, not alarm, the Brazilian potato chain in order to promote the management changes to preserve the crop in case the expected temperature rise comes true. In addition, the role of plant breeding to counteract the negative effects of high temperature is discussed.

Keywords: *Solanum tuberosum*, physiology, temperature, climatic change.

(Recebido para publicação em 3 de setembro de 2009; aceito em 28 de fevereiro de 2011)

(Received on September 3, 2009; accepted on February 28, 2011)

Preocupante aumento da temperatura no planeta, embora ainda questionado por alguns (Molion, 2008), tem sido cada vez mais aceito pela comunidade científica, conforme indi-

cado no relatório do “Intergovernmental Panel on Climate Change”, divulgado pela OMM/WMO-Pnue/Unep, e atualizado recentemente na França (“Climate Change 2007: The Physical Science

Basis”, www.ipcc.ch) (McCarthy *et al.*, 2003). Neste último relatório, é destacado o fato de que observações sobre o incremento gradual das médias das temperaturas do ar e dos oceanos,

degelo generalizado em regiões polares e aumento do nível do mar são provas inequívocas do aquecimento global.

Com base no levantamento de dados de vários anos, que proporcionaram simulações em complexos modelos climáticos, este relatório prevê que a temperatura global deverá aumentar, nos próximos 100 anos, entre 1,4°C e 5,8°C. Webster *et al.* (2001), com base em avaliações probabilísticas da sensibilidade do modelo, chegaram a valores similares que, ao nível de 95% de intervalo de confiança, variam de 0,9°C a 5,3°C. Da mesma forma, análises similares efetuadas por Wingley & Raper (2001) mostraram que, não havendo uma política de limitação dos efeitos antrópicos para minimizar o aquecimento global, o aumento da temperatura até 2100, com cerca de 90% de probabilidade, deverá ficar entre 1,7°C e 4,9°C. Considerando estes cenários, várias culturas agrícolas poderão ser afetadas, dentre elas a batata (Leemans & Solomon, 1993).

Este artigo relata os possíveis efeitos das mudanças climáticas na produção de batata, a partir de informações contidas na literatura e, em seguida, analisa o efeito do aquecimento global na produção de batata no Brasil. Não propõe realizar simulações por meio de modelos matemáticos para prever o futuro da bataticultura nacional, e sim tecer comentários sobre os riscos de cada um dos principais municípios produtores de batata face ao eventual aumento de temperatura que se anuncia. Mais do que um exercício teórico, este artigo foi elaborado com o intuito de alertar, e não alarmar, os atores da cadeia produtiva da batata sobre o assunto para que eventuais medidas corretivas possam ser tomadas o quanto antes.

Como a temperatura afeta a produção de batata

A batata (*Solanum tuberosum* L.), hortaliça originária das regiões frias de altitude dos Andes peruanos e bolivianos, é o quarto alimento mais consumido no mundo, após o arroz, o trigo e o milho (Hijmans, 2001; ABBA, 2006). Consumida nas montanhas andinas há mais de 7.000 anos, somente por volta de 1.500 foi introduzida na Europa, onde se popularizou, difundindo-se daí para outros continentes. Chegou ao Brasil

trazida por colonizadores europeus que se instalaram na Região Sul, onde perceberam que o clima frio era adequado para a bataticultura (ABBA, 2006). É cultivada no Brasil predominantemente nas regiões de clima temperado no sul do País, embora com significativa expansão em áreas de clima tropical de altitude durante o outono/inverno (Wrege *et al.*, 2004). Mas, mesmo sendo encontrada em grande amplitude geográfica no país, é considerada particularmente vulnerável ao aquecimento global em virtude de sua faixa relativamente pequena de temperatura, entre 10°C e 30°C, na qual pode ser cultivada. Fora destes limites, o desenvolvimento de tubérculos é significativamente inibido (New Agriculturist, 2008).

A cultura requer climas amenos para que ocorra tuberização abundante que garanta boa produtividade aliada à qualidade de tubérculos. Por exemplo, Menezes *et al.* (1999) comprovaram que o cultivo de batata na safra das águas, em Minas Gerais, sob temperaturas mais altas, resulta em produção cerca de 25% menor e em qualidade inferior dos tubérculos em comparação com o cultivo de inverno.

A temperatura acima da faixa ideal afeta diretamente o metabolismo das plantas e interage com outros fatores ambientais, tendo, assim, efeito significativo no seu desenvolvimento. No caso específico da batata, temperaturas altas não só reduzem a síntese de fotoassimilados essenciais ao desenvolvimento da planta como também a sua partição aos tubérculos (Burton, 1981; Ewing, 1981; Krauss & Marschner, 1984; Khedher & Ewing, 1985; Prange *et al.*, 1990; Denyer *et al.*, 1994; Van Dam *et al.*, 1996; Timlin *et al.*, 2006; Haverkort & Verhagen, 2008). Como consequência, ocorre queda de rendimento e redução da matéria seca dos tubérculos (Hughes, 1974; Marinus & Bodlaender, 1975).

Haverkort & Harris (1987) relacionaram temperatura a conteúdo de matéria seca e verificaram que sua concentração nos tubérculos decresceu 0,45% a cada 1°C de aumento na temperatura, partindo de uma porcentagem inicial de 20% e temperatura média de 14°C. Os mesmos autores indicaram ainda que o tamanho de tubérculos também diminui

com o aumento na temperatura devido à sua correlação negativa com número de tubérculos por planta. O número de tubérculos por planta aumentou em 1,68 tubérculo a cada 1°C de aumento na temperatura, também partindo de uma temperatura inicial de 14°C.

Em regiões tropicais, Souza (2003) observou que, sob altas temperaturas em pós-emergência inicial, as folhas são menores e mais numerosas, com formação de área foliar mais rápida do que em regiões frias. Entretanto, a longevidade das folhas é menor, as hastes são mais reduzidas e com formação de folhagem abaixo do suficiente para aproveitar a energia luminosa disponível para a produção de matéria seca. O crescimento das raízes é também mais reduzido, o que é uma desvantagem pela maior necessidade de absorção de água e nutrientes para possibilitar o metabolismo mais rápido da planta.

Antunes & Fortes (1981) analisaram a farta literatura sobre a temperatura ideal para o cultivo da batata e concluíram que, embora haja divergência de valores, a faixa de 10°C a 20°C acomoda a maioria dos resultados obtidos em várias partes do mundo, levando em conta ainda que a maioria das cultivares comerciais tuberizam melhor em temperaturas médias um pouco acima de 15°C. Dados mais precisos apontam esta faixa entre 15°C e 18°C, e que temperaturas noturnas acima de 22°C reduzem significativamente a produção de tubérculos (Info - Resources Focus, 2008).

Marinus & Bodlaender (1975) relataram que a produção de tubérculos e de biomassa da planta de oito cultivares de batata foi menor quando cultivadas a 27°C em comparação com 16°C e 22°C. Em estudos realizados no Brasil, Fontes & Finger (1999) sugeriram 25°C como a temperatura diurna máxima recomendada, desde que associada a temperaturas noturnas mais baixas. Burton (1981) também foi além da análise de valores de temperatura em si, ao afirmar que regiões com temperaturas máximas entre 20°C e 30°C e mínimas entre 8°C e 15°C são mais favoráveis ao cultivo do que regiões com pouca amplitude térmica.

A redução da produtividade a partir de um limite máximo de temperatura

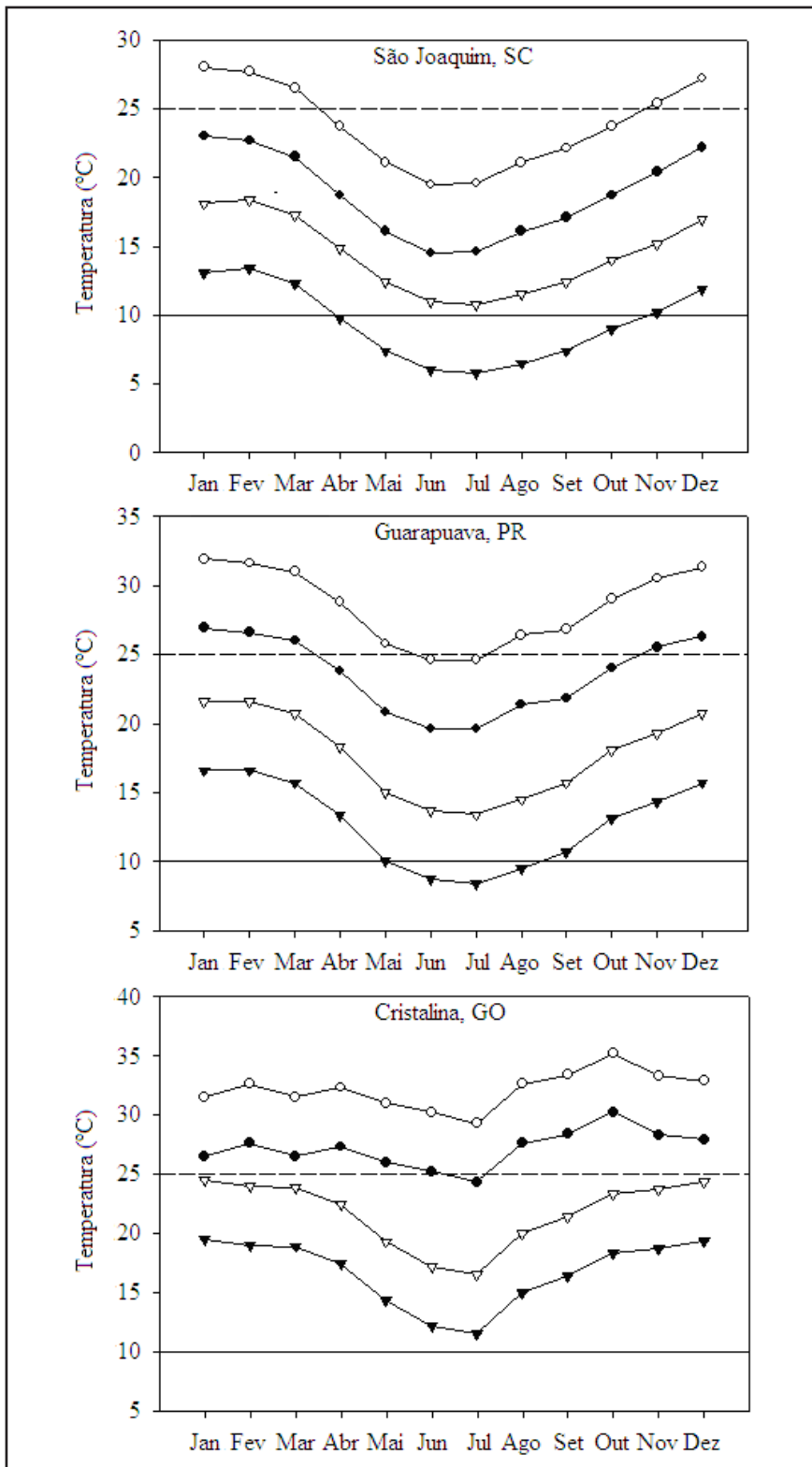


Figura 1. Temperaturas máximas e mínimas mensais atuais (círculo e triângulo cheios) e acrescidas de 5°C (círculo e triângulo vazios) para São Joaquim (SC), Guarapuava (PR) e Cristalina (GO). Gráficos elaborados a partir de dados extraídos de Wrege *et al.* (2004). O intervalo entre as linhas horizontais é delimitado pela temperatura máxima e temperatura mínima ideais para a cultura da batata (current monthly maximum and minimum temperatures (full circle and triangle) and increased of 5°C (empty circle and triangle) for São Joaquim (Santa Catarina State), Guarapuava (Paraná State) and Cristalina (Goiás State). Graphs elaborated from data of Wrege *et al.* (2004). The interval between the horizontal lines is delimited by the ideal maximum and minimum temperatures for potato). Brasília, Embrapa Hortaliças, 2009.

pode ser explicada pela inibição da fotossíntese à medida que a temperatura aumenta. Burton (1981) afirma que a temperatura ótima para a fotossíntese está em torno de 20°C e que, para cada 5°C de elevação na temperatura da parte aérea, há uma redução de aproximadamente 25% na taxa fotossintética, e a respiração foliar pode ser dobrada pelo aumento de 10°C. O mesmo autor observou completa inibição de fotossíntese líquida a temperaturas acima de 30°C (Burton, 1972).

Em estudo similar, porém mais detalhado com dez cultivares de batata e em intervalos menores de temperatura, Prange *et al.* (1990) observaram que a taxa de fotossíntese decresceu 34% quando a temperatura foi elevada de 18°C para 21°C. Da mesma forma, Hammes & Dejager (1990), em pesquisa realizada em câmaras de crescimento com temperaturas de 15°C a 40°C, concluíram que a taxa fotossintética sofreu redução em temperaturas acima de 20°C em todas as cultivares de batata analisadas, a ponto de, a 40°C, ser de apenas 37% daquela apresentada a 20°C. Relatos independentes de Ku *et al.* (1977) e Dwelle *et al.* (1981) concordam que a temperatura ótima para a fotossíntese líquida na planta não ultrapassa 25°C. Por sua vez, Epstein (1966) observou que, aos 30 dias após a emergência, plantas crescidas em temperaturas constantes de 9°C, 16°C e 22°C apresentavam tubérculos, ao passo que nenhum tubérculo foi encontrado em temperaturas de 29°C. Reynolds *et al.* (1990) submeteram clones com diferentes níveis de tolerância ao calor à temperatura de 40°C/30°C e concluíram que as diferenças de comportamento das plantas sensíveis ao calor se devem à acelerada senescência, perda de clorofila, redução da condutância estomatal e inibição das reações escuras da fotossíntese.

Além de provocar redução de produtividade, altas temperaturas ainda afetam negativamente a aparência do tubérculo devido à ocorrência de doenças e distúrbios fisiológicos tais como lenticeloses, rachaduras, embonecamento e manchas internas (Hughes, 1974; Marinus & Bodlaender, 1975; Hooker, 1990; Menezes *et al.*, 1999), acompanhados ou não de crescimento

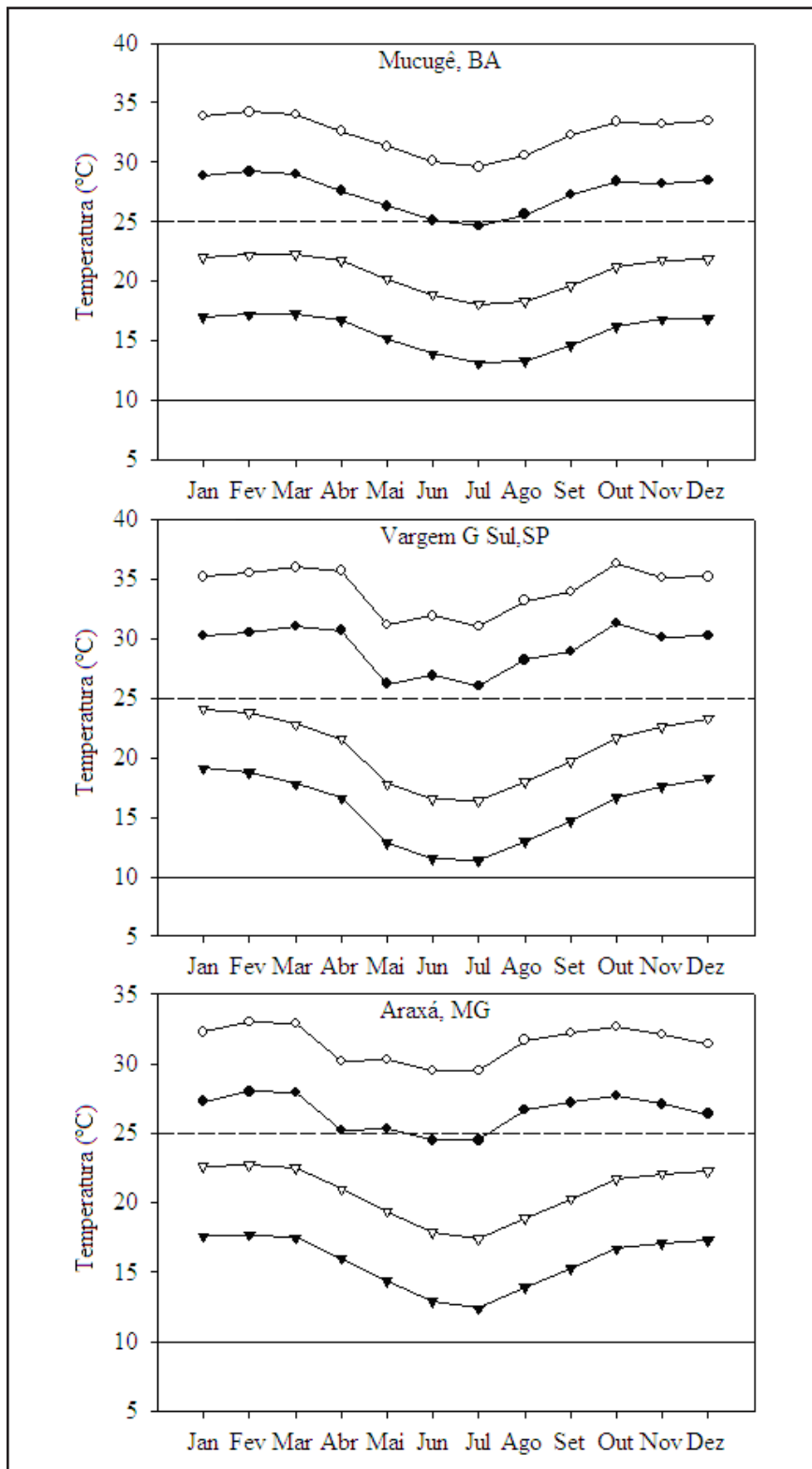


Figura 2. Temperaturas máximas e mínimas mensais atuais (círculo e triângulo cheios) e acrescidas de 5°C (círculo e triângulo vazios) para Mucugê (BA), Vargem Grande do Sul (SP) e Araxá (MG). Gráficos elaborados a partir de dados extraídos de Wrege *et al.*, (2004). O intervalo entre as linhas horizontais é delimitado pela temperatura máxima e temperatura mínima ideais para a cultura da batata (current monthly maximum and minimum temperatures (full circle and triangle) and increased of 5°C (empty circle and triangle) for Mucugê (Bahia State), Vargem Grande of Sul (São Paulo State) and Araxá (Minas Gerais State). Graphs elaborated from data of Wrege *et al.*, (2004). The interval between the horizontal lines is delimited by ideal maximum and minimum temperatures for potato). Brasília, Embrapa Hortaliças, 2009.

exuberante da parte aérea e senescência precoce das folhas, com redução no crescimento de tubérculos pelo encurtamento do período de acúmulo de reserva (Marinus & Bodlaender, 1975; Fontes & Finger, 1999).

Efeitos na produção - Embora o efeito do aquecimento global na agricultura tenha sido exaustivamente discutido nos últimos anos, poucos são os modelos agroclimatológicos que tratam da influência das mudanças climáticas na bataticultura. Em um deles, simulação realizada por Hijmans (2001) e Hijmans (2003) indicaram que o aumento de 1,2°C a 3,2°C entre 2010 a 2060 resultará em queda de produção da batata nas regiões tradicionais de cultivo, principalmente em locais de baixa altitude. Em países de clima tropical e subtropical, a queda de produtividade esperada está entre 20% e 30% (Info - Resources Focus, 2008). Para o Brasil, a queda de produção prevista é de 23% no período de 2040-2069 (Hijmans, 2003).

Recentemente, o Centro Internacional de la Papa (CIP) anunciou o desenvolvimento de um modelo que simula e visualiza o efeito de diferentes cenários climáticos na produção de batata (Hijmans & Graham, 2006). Ao associar as respostas de diferentes cultivares com informações geográficas precisas relacionadas ao solo e às principais variáveis climáticas (temperatura e precipitação), este modelo permite estimar o futuro da bataticultura na região e até mesmo as produtividades nas diferentes épocas do ano. Além de uso direto pelo produtor, esse modelo pode ser útil em programas de melhoramento de batata na busca de cultivares resistentes a condições adversas de cultivo.

É fácil imaginar, por outro lado, que o aumento de temperatura não só traz efeitos negativos, pois pode ser favorável à bataticultura em regiões de elevadas altitudes e latitudes ao permitir a extensão da época de cultivo. Além de aumentar a produtividade em lavouras conduzidas em climas mais frios, a produção de inverno, normalmente inviabilizada pela presença de geadas, pode se tornar realidade. Não se deve negligenciar, entretanto, o fato de cultivos em terrenos declivosos dificultarem a mecanização e resultarem na degradação do solo.

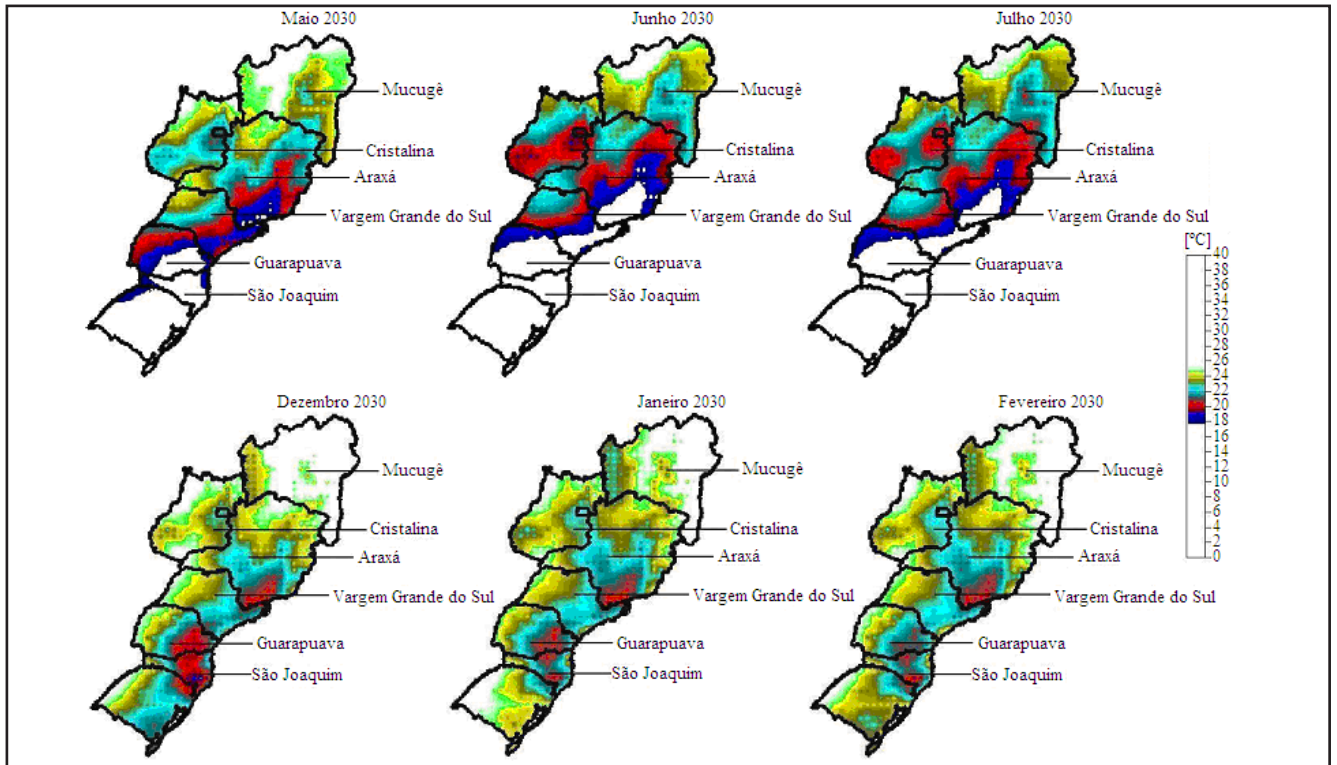


Figura 3. Faixas de temperaturas geradas segundo o modelo do Hadley Centre nos principais municípios produtores de batata no Brasil nos meses de maio, junho, julho, dezembro janeiro e fevereiro, para o ano de 2030, considerando aumento mais lento na temperatura. Fonte: INPE (temperature intervals according to the Hadley Centre model in the main potato producing counties in Brazil in the months of May, June, July, December January and February, for the year 2030, considering slower increase in temperature. Source: INPE). Brasília, Embrapa Hortaliças, 2009.

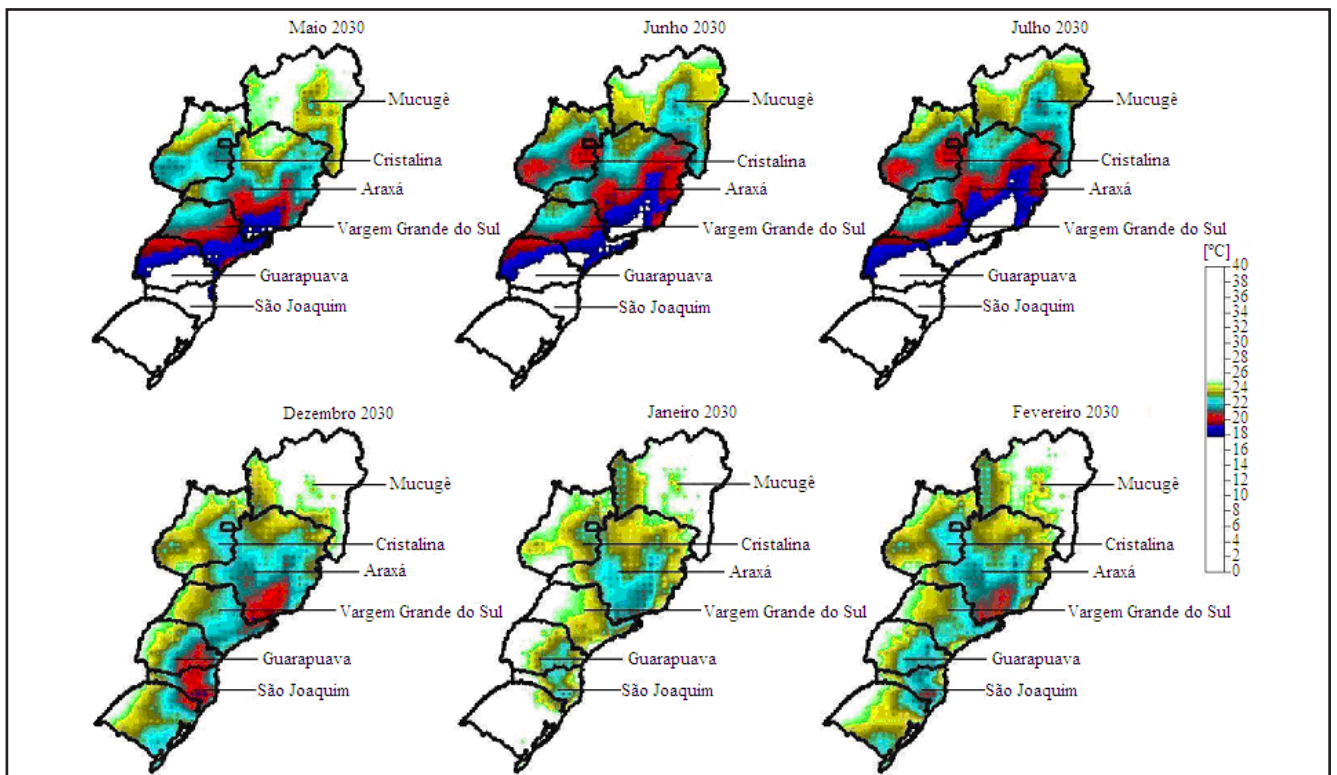


Figura 4. Faixas de temperaturas geradas segundo o modelo do Hadley Centre nos principais municípios produtores de batata nos meses de maio, junho, julho, dezembro janeiro e fevereiro, para o ano de 2030, considerando aumento mais rápido na temperatura. Fonte: INPE (temperature intervals according to the Hadley Centre model in the main potato producing counties in the months of May, June, July, December January and February, for the year 2030, considering faster increase in temperature. Source: INPE). Brasília, Embrapa Hortaliças, 2009.

Tabela 1. Número de meses do ano em que a média de temperatura se encontra dentro da faixa de ótima (10°C a 25°C) para a cultura da batata na situação atual e após o aumento de 5°C (number of months of the year that the average temperature is between 10°C and 25°C, regarded as the ideal range for the potato crop in the current situation, and after the increase of 5°C). Brasília, Embrapa Hortaliças, 2009.

Município	Temperatura mínima		Temperatura máxima		Amplitude atual (°C)
	Atual	+5°C	Atual	+5°C	
São Joaquim-SC	6	12	12	7	5-23
Guarapuava-PR	9	12	7	2	7-27
Cristalina-GO	12	12	1	0	12-30
Mucugê-BA	12	12	2	0	12-30
Vargem Grande do Sul-SP	12	12	0	0	11-32
Araxá-MG	12	12	4	0	12-27

Efeitos nas doenças e pragas - Outro ponto relevante nessa discussão é o fato de que as mudanças climáticas afetarão as interações entre os patógenos e os insetos-pragas e insetos-vetores com as plantas da batata. Embora isso não seja válido para todos os casos, pode-se afirmar que, de modo geral, aumentarão problemas com pragas e doenças pelo aumento de temperatura, justificado por Haverkort & Verhagen (2008) por proporcionar maior quantidade de ciclos de multiplicação de patógenos. Além disso, provocará alterações no nível de resistência das plantas a doenças e na patogenicidade dos agentes etiológicos, bem como nas interações hospedeira – patógeno (Boland *et al.*, 2004; Chakraborty *et al.*, 1998; Chakraborty & Datta, 2003; Coakley *et al.*, 1999; Runion, 2003; Lopes *et al.*, 2008).

Efeitos no melhoramento genético

O mais preocupante do aquecimento global no melhoramento genético da batata está relacionado ao germoplasma, constituindo-se numa séria ameaça para algumas espécies silvestres de *Solanum*, de grande importância aos programas de melhoramento. Prevê-se que entre 16% e 22% das 108 dessas espécies estejam ameaçadas de extinção até o ano de 2055 (Info - Resources Focus, 2008).

Não tanto em função aquecimento global mas visando o avanço de fronteiras da bataticultura, a busca de fontes de tolerância a altas temperaturas vem sendo exercitada há cerca de duas décadas. Reynolds & Ewing (1989b) avaliaram 319 acessos pertencentes a 59 espécies do gênero *Solanum* e observaram tube-

rização mais consistente entre 30°C e 40°C nas espécies *S. bulbocastanum* (PI 347757), *S. chacoense* (PI 197760 e PI 320285), *S. demissum* (PI 175411 e PI 275206) e *S. stoloniferum* (PI 255532). Esses acessos, disponíveis na coleção do “Inter-Regional Potato Introduction Project”, Wisconsin, EUA, são importantes fontes genéticas de tolerância para os programas de melhoramento visando à obtenção de cultivares tolerantes a altas temperaturas. Em adição, o Centro Internacional de la Papa possui clones úteis para essa finalidade, originados de grande esforço nas décadas de 1980 e 1990 para o desenvolvimento de cultivares adaptadas às regiões tropicais (Hetherington *et al.*, 1983; Midmore & Prange, 1992). Cultivares altamente produtivas e tolerantes ao calor foram também identificadas por Tai *et al.* (1994), que propuseram a análise de trilha para análise das interações genótipo-ambiente. No Brasil, Silva *et al.* (2009), como parte do programa de melhoramento de batata da UFPA, avaliaram clones tardios e precoces para adaptação a condições tropicais em plantios sujeitos a temperaturas acima de 20°C, com picos de 30°C a 35°C, principalmente durante o enchimento linear dos tubérculos. Recomendam, como estratégia para aumentar a produtividade em regiões tropicais, a seleção de clones de ciclo vegetativo longo. O programa atual de melhoramento genético de batata da Embrapa também possui como um forte componente a seleção de clones adaptados aos trópicos.

É importante que clones avança-

dos dos programas nacionais de melhoramento genético de batata sejam desenvolvidos considerando também a resistência às principais doenças e sejam avaliados em diferentes localidades e épocas de plantio, visando garantir sua estabilidade de produção (Pereira, 2003). Mas, independentemente da resistência às doenças em si, sabe-se que plantas sob estresse, inclusive pela não adaptação às altas temperaturas, são mais sensíveis ao ataque de doenças. Em compensação, os rápidos avanços na genômica vegetal e técnicas moleculares trazem grande esperança como ferramentas auxiliares ao desenvolvimento das cultivares do futuro.

Uma análise do aquecimento global na bataticultura brasileira

A análise do impacto do eventual aquecimento global na produção de batata no país feita a seguir é baseada no cenário descrito no relatório do “Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC”, sem entrar no mérito da sua pertinência, e na situação atual da produção brasileira, descrita por Wrege *et al.* (2004). As informações climáticas que possibilitaram a confecção das figuras seguintes foram extraídas do trabalho de Wrege *et al.* (2004), e as épocas de plantio disponibilizadas na página na internet da Associação Brasileira da Batata (www.abbabatatabrasileira.com.br).

Os mapas, que demonstram a variação espacial da temperatura (Figuras 3 e 4), foram gerados segundo o modelo do Hadley Centre, com temperaturas médias mensais e considerando uma faixa de variação de 18°C a 26°C para o ano de 2030. Para a elaboração destes mapas, também foram considerados dois cenários, um mais otimista, em que o aumento da temperatura é mais lento com o passar dos anos e outro, mais pessimista, com aumento mais rápido.

Em virtude da grande amplitude de temperaturas máximas e mínimas indicadas na literatura nacional e internacional como sendo favoráveis ao desenvolvimento da batata, foi considerada neste trabalho a indicação de Fontes & Finger (1999) que sugerem 25°C como a temperatura diurna máxima, desde que associada a temperaturas noturnas mais baixas, com limite inferior de 10°C. Estes limites acomodam a maioria dos

resultados obtidos em várias partes do mundo (Antunes & Fortes, 1981).

Também não foram levadas em conta as diferenças de adaptação das cultivares em virtude de haver pequena variabilidade deste caráter em função da estreita base genética utilizada nos programas de melhoramento da batata que originaram as principais cultivares plantadas no Brasil (Pereira *et al.*, 2003).

Como resultado desse trabalho, foram gerados os gráficos de temperaturas mínima e máxima mensais dos principais municípios produtores de batata no Brasil. Considerou-se somente um município no caso de esse apresentar situação climática similar a outros eventualmente também importantes.

Na atual condição climática no Brasil, mesmo para as regiões onde prevalece clima mais ameno, pode ser verificado que apenas o município de São Joaquim-SC, nos meses mais frios do ano, temperaturas mínimas abaixo de 10°C são limitantes para a cultura da batata em função da ocorrência de geadas (Figura 1). Raciocínio semelhante é válido para os vários municípios não constantes da lista com a mesma limitação por geadas, principalmente nos estados de maior latitude sul, como Ibiraiaras-RS e Água Doce-SC, ou de altitude, como Senador Amaral-MG. Para estes municípios, o aumento de temperatura poderá viabilizar plantios de inverno.

Por outro lado, o plantio dos meses de novembro a fevereiro, bem como a colheita antecipada do final de dezembro, poderão apresentar problemas fisiológicos e patológicos com as temperaturas muito altas. Em resumo, por ter como característica climática um inverno com temperaturas muito baixas, a bataticultura no município de São Joaquim poderá aumentar em relação à área plantada atual, mesmo com elevação de temperatura preconizada pelo IPCC, devido à possibilidade de cultivo em épocas tradicionalmente mais frias no outono e no inverno. Haveria necessidade, portanto, de ajustes nas épocas de plantio em tal situação.

Para os municípios da região de Guarapuava e Ponta Grossa-PR, e Itapetininga-SP, os três primeiros e os três últimos meses do ano se tornariam

impróprios para o desenvolvimento normal das plantas de batata após aumento de 5°C (Figura 1). O plantio de cultivares mais precoces, entretanto, ainda possibilitaria plantios que permitissem o desenvolvimento das plantas de maio a agosto.

A situação é mais preocupante para os municípios que atualmente não sofrem restrições de temperaturas baixas de inverno, o que permite o cultivo de batata praticamente o ano todo, com alguma dificuldade para os municípios com verão chuvoso. Assim, Cristalina (Figura 1), Araxá, Mucugê e Vargem Grande do Sul (Figura 2) teriam sérias restrições climáticas de alta temperatura para o cultivo da batata, comprometendo a possibilidade de permitirem as três safras atuais (de janeiro a abril, de abril a julho e de agosto a dezembro).

Um resumo do efeito do aumento de temperatura esperado até o final do século, de aproximadamente 5°C, é mostrado na Tabela 1, que mostra o número de meses em que a média das temperaturas máxima e mínima se encontram dentro da faixa ótima (10°C a 25°C) assumida neste artigo, para os seis municípios representantes dos maiores produtores do Brasil. Em relação à limitação por temperaturas baixas, somente os municípios de São Joaquim e Guarapuava apresentam restrições de seis e três meses, respectivamente, e que deixariam de existir após o aumento da temperatura. Entretanto, a preocupação maior pode ser verificada quando se observam as temperaturas máximas, que restringiriam a cultura em todos os meses do ano para os municípios de Cristalina, Mucugê, Vargem Grande do Sul e Araxá após o aumento de 5°C. De fato, percebe-se, pelas Figuras 1 e 2, que estes quatro últimos já apresentam temperaturas máximas bem próximas ao limite da faixa ótima para a cultura da batata.

Para que seja visualizado o efeito do aumento de temperatura, tomaremos como exemplo as cidades de Mucugê e São Joaquim no ano de 2030 (Figuras 3 e 4), em dois cenários, um com aumento mais lento da temperatura e outro com aumento mais rápido. As cidades foram escolhidas por representarem pontos extremos de regiões produtoras de batata

no Brasil. Os meses de maio, junho e julho foram escolhidos por serem os mais frios, para fins de comparação, enquanto que os meses de dezembro, janeiro e fevereiro foram escolhidos por serem os mais quentes e, conseqüentemente, os mais críticos para a produção de batata.

Em Mucugê, com um aumento mais lento da temperatura (Figura 3), as faixas ficariam por volta de 24°C e 25°C para os meses de dezembro a fevereiro. Estas temperaturas já estariam acima da temperatura máxima ideal, 18°C, atingindo o limite máximo recomendado, 25°C. Com o aumento mais rápido das temperaturas (Figura 4), estas também ficariam na faixa de 24°C a 25°C. Apesar de não parecer diferente, em termos de variação de temperatura média, é observado nos mapas que as áreas com temperaturas que permitem o cultivo diminuem de um cenário para outro, principalmente para o mês de janeiro. Esta previsão reforça a idéia de que deverá haver alterações no calendário de produção, com antecipação de colheita em dezembro e adiamento do plantio nos meses de janeiro e fevereiro.

Para os meses de maio a julho, período mais frio, as temperaturas ficariam por volta de 20°C a 22°C, no caso de um aumento mais lento, e por volta de 21°C a 22°C no caso de um aumento mais rápido de temperatura, portanto não limitando o cultivo nesse período.

Para a cidade de São Joaquim, no caso de um cenário com aumento mais lento de temperatura (Figura 3), estas ficariam entre 20°C e 21°C, mantendo-se dentro do intervalo de temperaturas que acomodam a maioria dos resultados obtidos para batata, não devendo ser necessárias alterações das datas de colheita e plantio durante os meses de dezembro a fevereiro. Em um cenário com aumento mais rápido da temperatura (Figura 4), estas ficariam por volta de 20°C e 23°C, já podendo levar a uma diminuição na produção.

Observando a movimentação das faixas de temperaturas, apresentadas nos mapas das Figuras 3 e 4, e levando-se em conta que as informações são referentes apenas ao ano de 2030, é esperado que as faixas sofram crescentes alterações

até o final do século, para quando é esperado um aumento acumulado de até 5°C usado nas inferências deste trabalho. Deste modo, os mapas apresentados reforçam a inferência de que o período de produção de dezembro a fevereiro se tornará inviável para vários municípios, afetando até São Joaquim, que deverá ter sua produção reduzida pelo aumento da temperatura, embora em menor proporção.

Evitando considerar somente um cenário pessimista para a bataticultura brasileira, deve ser esclarecido que as inferências desse trabalho foram feitas a partir de temperaturas médias. Isso leva a uma análise que pode ser, em parte, mais pessimista, ao não levar totalmente em conta que associação de temperaturas diurnas altas com temperaturas noturnas amenas, conforme indicado por Burton (1981), é favorável à bataticultura, face às altas produtividades obtidas em cultivos de verão, como observado na região da Chapada Diamantina (ABBA, 2006), onde essas condições ocorrem com frequência.

Há que se considerar ainda que os produtores que protagonizam o desenvolvimento da bataticultura nacional empreendem suas atividades com a cultura em mais de uma região/estado para estender o período de safra, visando o atendimento regular da clientela, o desfrute de melhores cotações médias de preço do produto no mercado e a utilização da infra-estrutura. Além da importância para o sucesso do negócio da batata, esta estratégia certamente facilitará ajustes que se fizerem necessários em relação a épocas e regiões de produção na medida em que os efeitos do provável aquecimento global se efetivarem.

Finalmente, os efeitos do aumento da temperatura certamente ressaltarão a necessidade de incrementar esforços nos programas de melhoramento genético no sentido de priorizar o desenvolvimento de cultivares tolerantes ao calor, concomitantemente com resistência às doenças favorecidas por altas temperaturas.

Com base no exposto anteriormente, neste artigo são feitas as seguintes assertivas:

- O aquecimento global deverá provocar rearranjo das regiões produtoras de batata no mundo, bem como ajustes nas épocas de plantio;

- Há necessidade de os programas de melhoramento genético de batata investirem em ações visando tolerância ao calor;

- Há sério risco de erosão genética devido à elevação de temperatura nos centros de origem e diversidade de *Solanum*, que levará a perdas de espécies silvestres de grande importância ao melhoramento genético;

- Algumas regiões brasileiras produtoras de batata que hoje permitem o cultivo durante todo o ano sofrerão os efeitos do aquecimento global, com perspectiva de concentração da produção somente nos meses de temperaturas mais baixas, de redução de produtividade e de aumento da intensidade de algumas doenças;

- Municípios produtores de batata localizados em regiões mais frias não serão afetados significativamente, embora devam ocorrer mudanças nas épocas de plantio.

REFERÊNCIAS

- ABBA. Associação Brasileira da Batata. 2006, 10 de junho. Disponível em www.abbabatatabrasileira.com.br
- ANTUNES FZ; FORTES M. 1981. Exigências climáticas da cultura da batata. *Informe Agropecuário* 7:19-30.
- BOLAND GJ; MELZER MS; HOPKIN A; HIGGINS V; NASSUTH A. 2004. Climate change and plant diseases in Ontario. *Canadian Journal of Plant Pathology* 26: 335-350.
- BURTON WG. 1972. The response of potato plant and tuber to temperature. In: REES AR; COCKSHULL, KE; HAND DW; HURD RG. *Crop Processes in Controlled Environments*. New York: Academic Press. p.217-233.
- BURTON WG. 1981. Challenges for stress physiology in potato. *American Potato Journal* 58: 3-14.
- CHAKRABORTY S; MURRAY GM; MAGAREY PA; YONOW T; O'BRIAN RG; CROFT BJ; BARBETTI MJ; SIVASITHAMPARAM K; OLD KM; DUDZINSKI MJ; SUTHERST RW; PENROSE LJ; ARCHER C; EMMET RW. 1998. Potential impact of climate change on plant diseases of economic significance to Australia. *Australian Plant Pathology* 27: 15-35.
- CHAKRABORTY S; DATTA S. 2003. How will plant pathogens adapt to host plant resistance at elevated CO₂ under a changing climate? *New Phytologist* 159: 733-742.
- COAKLEY SM; SCHERM H; CHAKRABORTY S. 1999. Climate change and plant disease management. *Annual Review of Phytopathology* 37: 399-426.
- DENYER K; HYLTON CM; SMITH AM. 1994. The effect of high temperature on starch synthesis and the activity of starch synthase. *Australian Journal of Plant Physiology* 21: 783-789.
- EWING EE. 1981. Heat stress and the tuberization stimulus. *American Potato Journal* 58: 31-49.
- FONTES PCR; FINGER FL. 1999. Dormência dos tubérculos, crescimento da parte aérea e tuberização da batateira. *Informe Agropecuário* 20: 24-29.
- HAMMES PS; DEJAGER JA. 1990. Net photosynthetic rate of potato at high temperatures. *Potato Research* 33: 515-520.
- HAVERKORT AJ; HARRIS PM. 1987. A model for potato growth and yield under tropical highland conditions. *Agricultural and Forest Meteorology* 39: 271-282.
- HAVERKORT AJ; VERHAGEN A. 2008. Climate change and its repercussions for the potato supply chain. *Potato Research* 51: 223-237.
- HETHERINGTON SE; SMILLIE RM; MALAGAMBA P; HUAMÁN Z. 1983. Heat tolerance of cultivated potatoes measured by the chlorophyll-fluorescence method. *Planta* 159: 119-124.
- HIJMANS RJ. 2001. Global distribution of the potato crop. *American Journal of Potato Research* 78: 403-412.
- HIJMANS RJ. 2003. The effect of climate change on global potato production. *American Journal of Potato Research* 80: 271-280.
- HIJMANS RJ; GRAHAM CH. 2006. The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global Change Biology* 12: 2272-2281.
- HUGHES JC. 1974. Factors influencing the quality of ware potatoes. 2. Environmental factors. *Potato Research* 17: 512-547.
- INFO - Resources Focus. 2008, 10 de novembro. *Potatoes and Climate Change*. Disponível em: www.inforesources.ch/pdf/focus08_1_e.pdf.
- KHEDHER MB; EWING EE. 1985. Growth analysis of eleven potato cultivars grown in the greenhouse under long photoperiods with and without heat stress. *American Potato Journal* 62: 537-554.
- KRAUSS A; MARSCHNER H. 1984. Growth rate and carbohydrate metabolism of potato tubers exposed to high temperatures. *Potato Research* 27: 297-303.
- LEEMANS R; SOLOMON AM. 1993. Modeling the potential change in yield and distribution of the Earth's crops under a warmed climate. *Climate Research* 3: 79-96.
- LOPES CA; REIS A; SHIMOYAMA NY. 2008. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças da batata no Brasil. In: GHINI R; HAMADA E (eds). *Mudanças climáticas. Impactos sobre doenças de plantas no Brasil*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. p. 75-92.
- MARINUS J; BODLAENDER KBA. 1975. Response of some potato varieties to

- temperature. *Potato Research* 18: 189-201.
- MCCARTHY JJ; CANZIANI OF; LEARY NA; DOKKEN DJ; WHITE KS. 2003. Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Global Ecology & Biogeography* 12: 87-88.
- MENEZES CB; PINTO CABP; NURMBERG PL; LAMBERT ES. 1999. Avaliação de genótipos de batata (*Solanum tuberosum* L.) nas safras “das águas” e de inverno no sul de Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia* 23: 776-783.
- MIDMORE DJ; PRANGE RK. 1992. Growth responses of two *Solanum* species to contrasting temperatures and irradiance levels: relations to photosynthesis, dark respiration and chlorophyll fluorescence. *Annals of Botany* 69: 13-20.
- MOLION LCB. 2008. Considerações sobre o aquecimento global antropogênico. *Informe Agropecuário* 29: 7-18.
- NEW AGRICULTURIST. 2008, 10 de novembro. *Climate change - can potato stand the heat?* Disponível em: www.new-ag.info/08/05/focuson/focuson2.php.
- PEREIRA AS. 2003. Melhoramento genético. In: PEREIRA AS; DANIELS J (eds). *O cultivo da batata na Região Sul do Brasil*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. p.105-124.
- PEREIRA AS; SOUZA ZS; CHOER E. 2003. Principais cultivares. In: PEREIRA AS; DANIELS J (eds). *O cultivo da batata na Região Sul do Brasil*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. p.143-153.
- PRANGE RK; MCRAE KB; MIDMORE EDJ; DENG R. 1990. Reduction in potato growth at high temperature: role of photosynthesis and dark respiration. *American Potato Journal* 67: 357-369.
- REYNOLDS MP; EWING EE. 1989a. Effects of high air and soil temperature stress on growth and tuberization in *Solanum tuberosum*. *Annals of Botany* 64: 241-247.
- REYNOLDS MP; EWING EE. 1989b. Heat tolerance in tuber bearing *Solanum* species: a protocol for screening. *American Potato Journal* 66: 63-74.
- REYNOLDS MP; EWING EE; OWENS TG. 1990. Photosynthesis at high temperature in tuber-bearing *Solanum* species. A comparison between accessions of contrasting heat tolerance. *Plant Physiology* 93: 791-797.
- RUNION GB. 2003. Climate change and plant pathosystems - future disease prevention starts here. *New Phytologist* 159: 531-538.
- SILVA FL; PINTO CABP; ALVES JD; BENITES FRG; ANDRADE CM; RODRIGUES GB; LEPRE AL; BHERING LL. 2009. Caracterização morfofisiológica de clones precoces e tardios de batata visando à adaptação a condições tropicais. *Bragantia* 68:295-302.
- SOUZA ZS. 2003. Ecofisiologia. In: PEREIRA AS; DANIELS J (eds). *O cultivo da batata na Região Sul do Brasil*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. p.80-104.
- TAI GC; LEVY D; COLEMAN WK. 1994. Path analysis of genotype-environment interactions of potatoes exposed to increasing warm-climate constraints. *Euphytica* 75: 49-61.
- TIMLIND; LUTFOR RAHMAN SM; BAKER J; REDDY VR; FLEISHER D; QUEBEDEAUX B. 2006. Whole plant photosynthesis, development, and carbon partitioning in potato as a function of temperature. *Agronomy Journal* 98: 1195-1203.
- VAN DAM J; KOOMAN PL; STRUIK PC. 1996. Effects of temperature and photoperiod on early growth and final number of tuber in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Potato Research* 39: 51-62.
- VAN KEULEN HW; STOL W. 1995. Agro-ecological zonation for potato production. In: HAVERKORT AJ; MACKEMON DJL (eds). *Potato Ecology and Modeling of Crops under Conditions Limiting Growth*. Dordrecht. Netherlands: Kluwer Academic Publishers. p.357-372.
- WEBSTER MD; FOREST CE; REILLY JM; SOKOLOV AP; STONE PH; JAKOBY HD; PRINN RG. 2001. Uncertainty Analysis of Global Climate Change Projections. *Joint Program on the Science and Policy of Global Change: Report 73*. Disponível em http://globalchange.mit.edu/files/document/MITJPSPGC_Rpt73.pdf. Acessado em 12 de fevereiro de 2009.
- WINGLEY TML; RAPER SCB. 2001. *Interpretation of High Projections for Global-Mean Warming*. Science Magazine. 10.1126/science.1061604. www.sciencemag.org/cgi/content/full/293/5529/451. 10 pp.
- WREGG MS; HERTER FG; PEREIRA AS; CARAMORIPH; GONÇALVES SL; BRAGA HJ; PANDOLFO C; MATZENAUER R; CAMARGOMBP; BRUNINIO; STEINMETZ S; REISSER JUNIOR C; FERREIRA JSA; SANS LMA. 2004. Caracterização climática das regiões produtoras de batata no Brasil. *Documentos 133*. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 35p.