



**CÉSAR AUGUSTO TICONA BENAVENTE**

**SELEÇÃO DE FAMÍLIAS CLONAIS DE  
BATATA EM GERAÇÕES PRECOSES PARA  
TOLERÂNCIA AO CALOR**

**LAVRAS - MG  
2010**

**CÉSAR AUGUSTO TICONA BENAVENTE**

**SELEÇÃO DE FAMÍLIAS CLONAIS DE BATATA EM GERAÇÕES  
PRECOSES PARA TOLERÂNCIA AO CALOR**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção do título de Doutor.

Orientador  
Dr. César Augusto Brasil Pereira Pinto

**LAVRAS - MG  
2010**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Ticona Benavente, César Augusto.

Seleção de famílias clonais de batata em gerações precoces para tolerância ao calor / César Augusto Ticona Benavente. – Lavras : UFLA, 2010.

94 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: César Augusto Brasil Pereira Pinto.

Bibliografia.

1. *Solanum tuberosum*. 2. Repetibilidade de médias. 3. Seleção sequencial. 4. Melhoramento vegetal. 5. Simulação computacional. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 635.2132

**CÉSAR AUGUSTO TICONA BENAVENTE**

**SELEÇÃO DE FAMÍLIAS CLONAIS DE BATATA EM GERAÇÕES  
PRECOSES PARA TOLERÂNCIA AO CALOR**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 30 de julho de 2010.

Dr. João Bosco dos Santos	UFLA
Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu	EMBRAPA
Dr. Cícero Beserra de Meneses	SAKATA SEEDS
Dr. Joaquim Gonçalves de Pádua	EPAMIG

Dr. César Augusto Brasil Pereira Pinto  
Orientador

**LAVRAS - MG  
2010**

*A DEUS, MEU CRIADOR, SUSTENTADOR E REDENTOR*

**OFEREÇO**

A MINHA AMADA ESPOSA ISABELA

A MEUS PAIS, GUMERCINDA E AGUSTÍN,  
PELAS ORAÇÕES E ANÍMIO PARA CONCLUIR MAIS ESTA ETAPA

AOS MEUS SOGROS SILVANA E GILBERTO

AOS MEUS IRMÃOS JULIO, SONIA E MOISÉS

AOS MEUS “PAISANOS” PERUANOS LUTADORES, FORTES E  
CORAJOSOS.  
AOS CAMPONESES ANDINOS QUE LABUTAM EM CONDIÇÕES  
ADVERSAS

AO ALEGRE POVO BRASILEIRO

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, Departamento de Biologia, programa de pós-graduação em genética e melhoramento de plantas.

À CAPES/CNPq- IEL Nacional-Brasil, pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao professor César Brasil pela orientação e boa amizade.

Ao professor Magno A. P. Ramalho, por sua dedicação ao trabalho e ensino e por sua amizade.

Ao professor João Bosco dos Santos, por sua disponibilidade para conversar e ajudar.

Ao mestre de campo e amigo Ramón, pelo bom convívio e pela amizade construída neste tempo.

Aos funcionários Leo “leão” e Lindolfo, por sua boa vontade quando precisei a ajuda deles.

Aos demais professores e funcionários do curso de pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas.

Aos amigos do programa de melhoramento de batata (Probatata) Flávio, Diogo, Dheyne, Josi, André, Cristiana, Alex, Bahiano, Gigas, Cleitão, Izabel, Realino, Kaio “Júnior”, Paulista, Jessica, Isabela, Ximena, Sílvia, Marinei e Vanessa.

Ao amigo Diego (Passatempo), pelo convívio inicial que foi útil durante o meu período de adaptação a esta terra “estranha”. A Filipe, amigo de república, quem me proporcionou um ambiente favorável para meu crescimento espiritual. A Pablo, pelo bom convívio de casa. E, mais recentemente, Douglas e Danilo que se integraram, formando assim uma família maior.

Aos amigos e colegas do curso de Genética e Melhoramento de Plantas, pela amizade e pelo convívio. Posso mencionar Zé Ângelo, Juarez, Zé Luis, Josiane, Diego PT, Vanessa, Raoni, Douglas e Fernandão Guedes.

Aos professores do curso de Estatística (Mario e Daniel), aos colegas desse curso pela boa amizade e auxílio no entendimento das disciplinas cursadas: Ana Paula, Gilson, Edicarlos, Naje, Fábio, Manoel e Isabel.

Aos irmãos em Cristo da Fadminas II, pela amizade de família, pelos bons e também pelos difíceis momentos que passamos. Lembro-me nestas linhas do Pr. Nerivan, Pr. Eder, Pr. Arilton, de Elon e Elisa, Magda e Itamar (*in memorian*), Luiz Claudio e Silvana, Ana Keila e Paulo, Bruna, Mariana, Raquel, Santa, Wilson e Elen, Mercedes e Toninho, Samuel e Rose, Davi e Neusa, Marta e Zé Augusto, Joel, Ivone, Santa, Quelia e Márcio, Paulo e Elaine, Dinéia, Tamara, João Paulinho, Douglas, Aline, Alex, Luiz e Geraldo.

A Dany e Sergião da IASD central de Lavras, pela boa amizade.

A dona Cida, que teve paciência com a gente por vários anos em casa.

A Nair, pelo excelente trabalho feito em casa e pelo seu bom ânimo, espírito de luta e fé em Deus contagiante.

Ao povo do Brasil ao qual me recebeu amigavelmente, respeitoso de nossas diferenças culturais e religiosas, terra da liberdade. Sempre se consegue “puxar um papinho”

A todos os que participaram na minha formação e amadurecimento acadêmico e espiritual.

## RESUMO

A bataticultura no Brasil sofre vários fatores limitantes, sendo o calor um dos mais importantes entre todos em razão de seu efeito negativo sobre a produção e qualidade de tubérculos na safra da seca e águas. Para a realização do melhoramento genético da batata, tem sido proposta a seleção de famílias clonais em gerações precoces. Nesta estratégia, famílias inteiras são avaliadas e selecionadas para que os clones possam, então serem selecionados dentro destas famílias. Há evidências da utilidade desta metodologia no melhoramento de batata. Porém, seu grau de sucesso não tem sido verificado em gerações precoces ou mesmo na geração seedling (GS) quanto à tolerância ao calor. Foram realizados cruzamentos entre clones tolerantes ao calor, sendo obtidas 30 famílias. Após a geração seedling, foram conduzidas quatro gerações clonais. As avaliações dessas famílias foram feitas na casa de vegetação ( na GS) e em campo nas safras de seca, inverno e das águas. Ao mesmo tempo, outros experimentos foram realizados em clones individuais na segunda e terceira geração clonal, sendo avaliados 750 e 570 clones respectivamente. Estes clones foram provenientes das famílias avaliadas na GS e primeira geração clonal (PGC). Foram estimadas as médias ajustadas para produtividade e peso específico de tubérculos. Depois, verificou-se a correlação de famílias nas várias gerações e foram simuladas varias intensidades de seleção de famílias, sendo verificada a repetibilidade das famílias selecionadas nas diferentes gerações. Também foram realizadas simulações de seleção de famílias na GS e PGC em várias intensidades de seleção e seu efeito sobre a seleção de clones individuais nas gerações posteriores tanto no calor, como em temperaturas amenas (segunda e terceira geração clonal respectivamente). Os resultados indicam que a seleção de famílias é eficiente. As correlações das famílias foram mais elevadas entre as safras de seca e águas; e menores quando correlacionadas com a safra de inverno. As simulações para verificar repetibilidade de famílias em diferentes gerações indicam estabilidade das informações de famílias para peso específico e produtividade. O efeito positivo da seleção das famílias na GS e PGC sobre a seleção de clones individuais nas gerações seguintes para peso específico e da seleção de famílias na PGC para produtividade também foi verificado.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum*. Simulação computacional. Repetibilidade de médias. Melhoramento de batata. Seleção sequencial.

## ABSTRACT

The potato crop in Brazil has many limiting factors especially heat. This factor is important because it has many negative impacts over tuber yield and quality in the rainy and dry seasons. Family selection in the early generations has been proposed to achieve potato breeding. Under this strategy whole families are evaluated and selected and then individual clones are selected from the best families. Usefulness of this strategy has been demonstrated but there is no evidence of selection for heat tolerance. Crosses were made between heat tolerant clones and thirty families were obtained and conducted up to the fourth generation. Families evaluations were done under green house (seedling generation - SG) and field in the dry, rainy and winter growing seasons. At the same time other experiments were carried out to evaluate individual clones in the second (750 clones) and third generations (570 clones). Adjusted means for tuber yield and specific gravity were estimated and used for selection. Pearson's correlations were estimated between families in the various generations and under several selection intensities and estimated the repeatability of families selected in different generations. Also, simulations of family selections were performed in the SG and first clonal generation (FCG) and their effects on individual clonal selection in the subsequent generations for warm and cool temperatures [second (SCG) and third clonal generations (TCG) respectively]. Results show that family selection is efficient. Correlations were higher between dry and rainy seasons, which have similar temperatures, and lower when estimated between cool seasons. Simulations to verify family repeatabilities over generations show stability of information for tuber specific gravity and tuber yield. Also it was observed positive effect of family selection in the SG and FCG on the selection of individual clones in the further generations for tuber specific gravity and for selection for tuber yield in the FCG.

Keywords: *Solanum tuberosum*. Computational simulation. Mean Repeatability. Potato breeding. Sequential selection.

## **LISTA DE FIGURAS**

### **CAPÍTULO 1**

Figura 1 Espécies cultivadas e sua origem proposta por Hawkes (1993)..... 17

## LISTA DE GRÁFICOS

### CAPÍTULO 1

- Gráfico 1 Predição da temperatura média mundial de 2000 ate 2100 em diferentes cenários ..... 25

### CAPÍTULO 2

- Gráfico 1 Simulações de repetibilidade de famílias aplicando diferentes intensidades de seleção para produtividade na primeira geração clonal..... 63
- Gráfico 2 Simulações de repetibilidade de famílias aplicando intensidades de seleção, para peso específico de tubérculos, na geração seedling (A) e primeira geração clonal (B) ..... 64
- Gráfico 3 Simulações de repetibilidade de famílias aplicando diferentes intensidades de seleção para produtividade (A) e peso específico de tubérculos (B) no inverno (TGC) com resposta no calor (QGC). TGC e QGC: terceira e quarta geração clonal respectivamente ..... 66
- Gráfico 4 Médias de famílias para produtividade ( $\text{gr.pl}^{-1}$ ) no calor (QGC) e no inverno (TGC). TGC e QGC: terceira e quarta geração clonal respectivamente ..... 67
- Gráfico 5 Médias de famílias para peso específico no calor (QGC) e no inverno (TGC). TGC e QGC: terceira e quarta geração clonal respectivamente ..... 68

### CAPÍTULO 3

- Gráfico 1 Porcentagem de clones selecionados para peso específico de tubérculos na segunda (A) e terceira (B) geração clonal pertencentes às famílias selecionadas na geração seedling (incidência de famílias). As linhas representam intensidades de seleção de famílias de 10% a 90% ..... 83
- Gráfico 2 Porcentagem de clones selecionados para peso específico de tubérculos na segunda (A) e terceira (B) geração clonal pertencentes às famílias selecionadas na primeira geração clonal (incidência de famílias). As linhas representam intensidades de seleção de famílias de 10% a 90% ..... 84
- Gráfico 3 Porcentagem de clones selecionados para peso específico de tubérculos na segunda (A) e terceira (B) geração clonal pertencentes às famílias selecionadas sequencialmente (geração *seedling* e primeira

	geração clonal). As linhas representam as intensidades de seleção de famílias na GS e PGC .....	86
Gráfico 4	Porcentagem de clones selecionados para produtividade na segunda (A) e terceira (B) geração clonal pertencentes às famílias selecionadas na primeira geração clonal (incidência de famílias). As linhas representam intensidades de seleção de famílias de 10% a 90% .....	88

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

Tabela 1 Taxonomia de algumas espécies de batata (secção <i>Petota</i> ) .....	18
Tabela 2 Efeito das altas temperaturas na batata (LEVY; VELLEUX, 2007)....	23
Tabela 3 Lista de cultivares de batata brasileiras.....	31

### CAPÍTULO 2

Tabela 1 Genealogia das progênes avaliadas para tolerância ao calor .....	58
Tabela 2 Distribuição da temperatura em porcentagens durante o período de tuberização (40 a 100 dias após o plantio) para os experimentos avaliados .....	59
Tabela 3 Correlações de Pearson entre gerações, para produtividade de tubérculos. Acima da diagonal, correlações em nível de famílias e abaixo, em nível de indivíduos. GS, PGC, SGC, TGC e QGC: geração seedling, primeira segunda, terceira e quarta respectivamente .....	60
Tabela 4 Correlações de Pearson entre gerações, para peso específico de tubérculos. Acima da diagonal, é em nível de famílias e abaixo, em nível de indivíduos. GS, PGC, SGC, TGC e QGC: geração seedling, primeira segunda terceira e quarta respectivamente).....	61

### CAPÍTULO 3

Tabela 1 Estimativas da herdabilidade a partir de experimentos de famílias em diferentes gerações.....	90
---	----

## SUMÁRIO

	<b>CAPITULO 1</b>	<b>Introdução Geral</b>	15
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>		15
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>		17
<b>1.1</b>	<b>Classificação e origem da batata</b>		17
<b>1.2</b>	<b>Influência da temperatura no desenvolvimento da batata</b>		20
<b>1.3</b>	<b>Influência do fotoperíodo na cultura da batata</b>		25
<b>1.4</b>	<b>Melhoramento da batata</b>		26
<b>1.5</b>	<b>Melhoramento de batata no Brasil</b>		29
<b>1.6</b>	<b>Melhoramento para tolerância ao calor</b>		32
<b>1.7</b>	<b>Seleção de famílias clonais</b>		34
<b>3</b>	<b>CONCLUSÃO</b>		40
	<b>REFERÊNCIAS</b>		41
	<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>Repetibilidade de médias de famílias em gerações precoces de batata sob condições de calor</b>	53
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>		55
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>		57
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>		59
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b>		69
	<b>REFERÊNCIAS</b>		70
	<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>Eficiência da seleção de famílias para a obtenção de clones de batata tolerantes ao calor</b>	74
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>		76
<b>2</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>		78
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>		81
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b>		91
	<b>REFERÊNCIAS</b>		92

## CAPITULO 1

### Introdução Geral

#### 1 INTRODUÇÃO

A batata tem origem nos Andes de Peru e Bolívia, perto do lago Titicaca, a 3800 metros acima do nível do mar. Com a chegada dos colonizadores espanhóis em 1532, a batata entrou na Europa ganhando espaço como alimento. Atualmente, a batata é plantada em mais de 100 países, em regiões de clima temperado, tropical e subtropical. Porém, ela se desenvolve melhor em climas temperados, ou entre 18 e 20 °C. Temperaturas inferiores a 10°C e superiores a 30°C inviabilizam a cultura. É por esta razão que a batata é plantada em zonas tropicais e subtropicais, utilizando áreas altas. Ou em zonas frias no final do inverno.

A batata na Europa foi e é melhorada para produzir em condições temperadas, 16 horas-luz, uma safra por ano e ciclo vegetativo de até 150 dias.

A batata chegou ao Brasil vinda da Europa -- com a colonização portuguesa --, adquirindo importância econômica por volta de 1950. Desde então, o melhoramento da batata para condições brasileiras de temperatura tropical e subtropical tem sido um desafio permanente. As cultivares mais plantadas no Brasil são oriundas da Europa (Ágata, Asterix, Markies, Cupido, Caesar, etc) e as cultivares nacionais não conseguem reverter esta situação.

Nestas condições, a bataticultura brasileira está em desvantagem e os resultados são visíveis quando são observadas a produtividade e a qualidade dos tubérculos em virtude das temperaturas elevadas nas safras das águas e da seca, onde acontece a maior área plantada de batata. Ao mesmo tempo, o aquecimento global poderá piorar a situação nos anos vindouros. Neste contexto, o melhoramento genético da batata com tolerância ao calor deve ser uma

prioridade em regiões tropicais e subtropicais. No caso do Estado de Minas Gerais, as safras das águas e da seca seriam seriamente afetadas.

É preciso focar o melhoramento da batata para tolerância ao calor. A herança da tolerância ao calor é quantitativa e complexa no seu entendimento fisiológico. Há muitos fatores que agem em conjunto para dar o efeito fenotípico de tolerância.

Um método de melhoramento para este complexo caráter que tem se mostrado eficiente para produtividade, qualidade e resistência a doenças quantitativas é a seleção recorrente (BRADSHAW et al., 2009). Mas, para o sucesso deste método, é preciso uma boa avaliação do material gerado em cada ciclo. Ao mesmo tempo, esta avaliação deve ser rápida e eficaz. Por sua vez, a seleção de famílias vem se mostrando eficiente em vários trabalhos, principalmente com cana-de-açúcar, mas também com batata. Porém, a eficiência desse método não foi avaliada em gerações precoces da cultura da batata sob condições de calor.

Este trabalho teve por objetivos i) avaliar a eficiência da seleção precoce de famílias para produção e peso específico de tubérculos visando à tolerância ao calor; ii) identificar famílias promissoras para ambos os caracteres e iii) avaliar a eficiência da seleção de famílias na GS e PGC com o intuito de selecionar clones adaptados ao calor, bem como determinar as intensidades de seleção apropriadas em nível de famílias e de clones individuais para produtividade e peso específico de tubérculos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 1.1 Classificação e origem da batata

A batata cultivada (*Solanum tuberosum* ssp *tuberosum*) é apenas uma espécie dentre aproximadamente 1500 espécies do gênero *Solanum* (FRODIN, 2004). Ela pertence à família Solanaceae, gênero *Solanum*, secção *Petota*, série *Tuberosa*, espécie *Solanum tuberosum* subsp *tuberosum*. Na figura 1 mostra-se a hipótese da origem da batata cultivada.

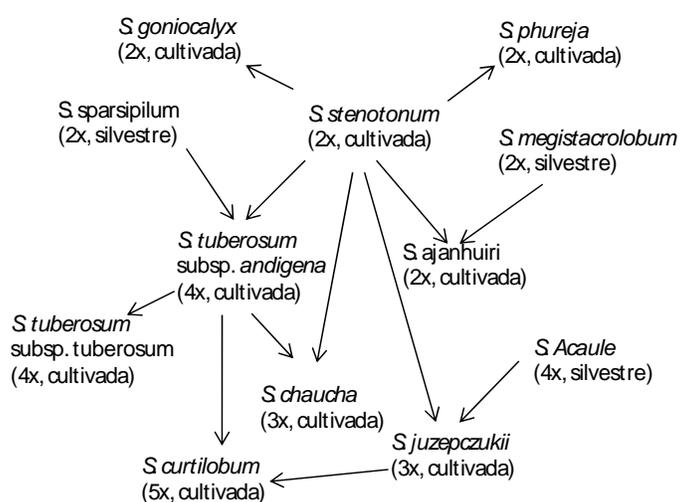


Figura 1 Espécies cultivadas e sua origem proposta por Hawkes (1993)

A relação taxonômica entre algumas espécies de batatas que tuberizam (secção *Petota*) e seus níveis de ploidia são mostrados na Tabela 1 (SCHLEGEL, 2003).

Tabela 1 Taxonomia de algumas espécies de batata (secção *Petota*)

Serie	Espécies	2n	Genoma
Etuberosa	<i>brevidens, etuberosum, fernandezianum</i>	24	E <sup>b</sup> E <sup>b</sup> , E <sup>c</sup> E <sup>c</sup> , E <sup>f</sup> E <sup>f</sup>
Morelliformia	<i>morelliformae</i>	24	A <sup>m</sup> A <sup>m</sup>
Bulbocastana	<i>bulbocastanum, clarum</i>	24	A <sup>b</sup> A <sup>b</sup>
Pinnatisecta	<i>caridophyllum, jamesii, pinnatisectum</i>	24	A <sup>pi</sup> A <sup>pi</sup>
Commersoniana	<i>chacoense, commersonii</i>	24	AA
Conicibacata	<i>santolallae, chromatophillum, agrimonifolium, longiconicum, oxycarpum</i>	24 48	A <sup>c1</sup> A <sup>c1</sup> , A <sup>c2</sup> A <sup>c2</sup> A <sup>c1</sup> A <sup>c1</sup> C <sup>a</sup> C <sup>a</sup> , A <sup>c1</sup> A <sup>c1</sup> C <sup>l</sup> C <sup>l</sup> , A <sup>c1</sup> A <sup>c1</sup> C <sup>o</sup> C <sup>o</sup>
Piurna	<i>piurnae tuquerrense</i>	24 48	A <sup>p</sup> A <sup>p</sup> A <sup>p</sup> A <sup>p</sup> PP
Acaulia	<i>acaule acaule ssp. albicans</i>	48 72	AAA <sup>a</sup> A <sup>a</sup> AAA <sup>a</sup> A <sup>a</sup> X <sup>b</sup> X <sup>b</sup>
Demissa	<i>brachycarpum, demissum, guerreense, spectabile</i>	72	AADDD <sup>b</sup> D <sup>b</sup> , AADDD <sup>d</sup> D <sup>d</sup> , AADDD <sup>g</sup> D <sup>g</sup> , AADDD <sup>s</sup> D <sup>s</sup>
Longipedicellata	<i>vallis-mexici fendleri, polytrichon, stoliferum</i>	36 48	AAB AABB
Polyadenia	<i>polyadenium, infundibuliformae, megistacrolobum, raphanifolium, sanctae-rosae, toralapanum</i>	24	AA
Ingaefolia	<i>rachialatum</i>	24	A <sup>i</sup> A <sup>i</sup>
Olmosiana	<i>olmosense</i>	24	A <sup>o</sup> A <sup>o</sup>
Tuberosa (silvestre)	<i>abancayense, bukasovii, canasense, gourlayi, kurtzianum, leptophyes, maglia, microdontum, soukupii, sparsipilum, speganzinii, vernei, verrucosum, sucrense</i>	24	AA
Tuberosa (cultivada)	<i>ajanhui, goniocalyx, phureja, stenotomum chaucha, juzepczukii tuberosum ssp. andigena tuberosum ssp. tuberosum cortilobum</i>	24 36 48 48	AA AAA <sup>t</sup> , AAA <sup>a</sup> AAA <sup>t</sup> A <sup>t</sup> AAA <sup>t</sup> A <sup>t</sup> AAAA <sup>a</sup> A <sup>t</sup>

Fonte: Schlegel (2003)

O gênero *Solanum* tem origem proposta nos Andes. Porém, as variedades primitivas têm duas origens. A primeira indica a área que vai desde o sudoeste da Venezuela até o norte da Argentina e a outra na ilha de Chiloé e no arquipélago de Chono no centro e sul do Chile (SPOONER et al., 2005).

A origem de *Solanum tuberosum* foi muito discutida, até que se estabeleceu que sua origem fosse populações de um grupo diplóide de espécies silvestres relacionadas com *S. brevicaulis* no sul do Peru e o norte da Bolívia (SPOONER et al., 2005a; SPOONER et al., 2005b). *S. brevicaulis* é composta de batatas diplóides, tetraplóides e hexaplóides, e provavelmente *S. bukasovii* seria o genitor desta espécie (SPOONER et al., 2005a), deixando de lado a teoria que a espécie *Solanum tuberosum* teria surgido da hibridação natural da *S. stenotomum* -2X, com a *S. sparsophyllum* - 2X e com subsequente duplicação cromossômica (HAWKES, 1993).

*S. tuberosum* ter-se-ia formado pela duplicação simples dos conjuntos de cromossomos e não pela fusão de dois genomas de dois diferentes progenitores. De forma similar, teria aparecido as espécies poliplóides silvestres de *Solanum* secção *Petota* nos Andes, México e Centro-América (KNAPP, 2008).

*Solanum tuberosum* teria sido levada à Europa pelos espanhóis em múltiplas ocasiões das duas origens antes mencionadas (RIOS et al., 2007). O primeiro registro que se tem nas ilhas Canárias é de 1562. Em 1573 a batata já era considerada alimento básico no Hospital de Sangre em Sevilla, Espanha. (HAWKES; FRANCISCO-ORTEGA, 1993).

Rios et al. (2007) reportaram uma série de fatos datados onde se mostra a importância que foi ganhando a batata na Espanha, e afirmam que em 1776 a batata era considerada a segunda cultura em importância nas Ilhas Canárias após a videira.

A hipótese mais aceita sobre a origem da batata européia é que ela inicialmente era andígena. Porém, outra hipótese está sendo proposta. Esta diz

que a origem da batata na Europa teria sido de origem andígena e de Chiloé até a epidemia de requeima (*Phytophthora infestans*) dos anos 1840. Mas como as chilenas estavam mais adaptadas a dias longos, rapidamente ganharam importância sobre as andinas. Isto explicaria porque, em pouco tempo, a batata virou alimento básico na Espanha. Se isto fosse certo a epidemia da requeima que começou em 1845, deveria ter extinguido as batatas andinas da Europa e cedido o lugar para as batatas chilenas. Contudo sabe-se que isso não é correto (RIOS et al., 2007; SPOONER et al., 2005b).

Da Europa a batata foi disseminada para o mundo, embora, recente estudo demonstrou que algumas batatas andinas e chilenas teriam chegado diretamente aos Estados Unidos (ZHANG et al., 2009).

A batata foi introduzida no Brasil no final do século XIX por imigrantes europeus na Região Sul (PEREIRA, 2003). O Estado de Rio Grande do Sul (Pelotas e arredores) foram os primeiros produtores de batata até a década de 40, algumas delas de origem argentina. Após a Segunda Guerra Mundial, o plantio avançou aos estados de Paraná e São Paulo (CHOER, 2003).

## **1.2 Influência da temperatura no desenvolvimento da batata**

A distribuição da batata no mundo vai do paralelo 47° S a 65°N de latitude. Nesta faixa, 6,9% da área de produção de batata se localiza no hemisfério sul, mas 90% da área total está entre 22°N a 59°N de latitude. Ainda dentro deste intervalo se apresentam dois picos: de 23°N a 34°N e de 44°N a 58°N representando 19% e 52% da área total respectivamente (HIJMANS, 2001).

A altitude a qual é plantada é variável, sendo que, 25% da área total está acima de 1000 metros acima do nível do mar, especialmente na área tropical de

22°S a 9°N de latitude, para compensar o calor equatorial. Porém, em áreas temperadas a batata é plantada a menos de 1000 metros.

No caso do Brasil, pelas razões antes mencionadas o plantio acontece em setembro (safra das águas=SA) e janeiro na região sul (safra da seca=SS), para conseguir o clima adequado e fugir das geadas. Em São Paulo o plantio começa no mês de agosto-setembro (SA) e no mês de abril (safra de inverno=SI). Isto porque as áreas são baixas e no verão as temperaturas são elevadas. No Sul de Minas Gerais e Triângulo mineiro por sua variação em altitude, apresenta o clima favorável em diferentes áreas durante o ano. Têm-se assim três safras, ou seja, os plantios são em agosto-setembro (SA), Janeiro (SS) e Abril (SI). Na Chapada da Diamantina (Bahia), o plantio ocorre na SA e SS, apesar de localizar-se mais próximo da linha equatorial (13°S) de latitude são utilizadas áreas de 1400 metros acima do nível do mar. No caso do norte de Minas Gerais (16°S) e Cristalina (Goiás) (16°S) a produção ocorre somente na safra de inverno, pelo fator limitante das temperaturas altas e áreas baixas (Informação verbal)<sup>1</sup>.

As temperaturas para o desenvolvimento da cultura da batata são variáveis, mas a temperatura ideal de cultivo está entre 15 a 20°C. Estudos foram realizados sobre o efeito da temperatura em diferentes etapas do ciclo da batata. Para o desenvolvimento do broto a temperatura ótima foi de 18°C e para a tuberização 20°C. Para formação dos tubérculos, temperaturas de 15 e 25°C atrasaram uma e três semanas respectivamente (BORAH; MILTHORPE, 1962). Para produtividade de tubérculos baixas temperaturas noturnas aumentam o número de tubérculos por planta. Altas temperaturas do ar e do solo reduzem a produtividade (SARQUÍ; GONZALEZ; BERNAL-LUGO, 1996). A temperatura ótima do solo seria entre 15 a 18°C (JONES; MCKINNE; FELLOWS, 1922). Em um trabalho com *Solanum commersonii* a maior

---

<sup>1</sup> Informações obtidas através do Sr. José D. Ribeiro em janeiro de 2010.

produtividade foi obtida a 25°C (DAVIS, 1941). A temperatura ótima para realizar a fotossíntese e respiração seria entre 16 a 20°C (BURTON, 1981; WINKLER, 1971). O último autor refere que o aumento em 5°C acima dos 20°C reduzem em 25% a taxa fotossintética. Em outro trabalho com a cultivar Russet Burbank a taxa fotossintética foi maior foi entre 24 a 30°C. Também, a taxa fotossintética foi reduzida a 35°C em modificação da condutância estomatal (DWELLE; KLEINKOPF; PAVEK, 1981). No entanto, na cultivar tolerante ao calor Norchip e na cultivar susceptível ao calor Up-to-Date foram mostradas que as temperaturas de 31°C dia/29°C noite não afetaram a taxa fotossintética (LAFTA; LORENZEN, 1995).

Parece que o efeito do calor seria sobre o fotosistema II por ser este mais termossensível (CAMEJO et al., 2005).

Wahid et al. (2007) mostraram como seria o efeito do calor no fotosistema II, nos tilacóides e na estabilidade da membrana. Mudança rápida de temperatura para 38°C produziria dano irreversível deste fotosistema, mas com aclimação o dano somente ocorreria aos 40°C (HAVAUX, 1993).

As altas temperaturas reduzem a partição de assimilados aos tubérculos, depositando-o no caule (van DAM; KOOMAN; STRUIKI, 1996). O aumento do ácido giberélico está associado às altas temperaturas, com efeito na redução ADPG-pirophospharylase (KRAUS; MARSCHNER, 1982; MARES, 1981).

A qualidade do tubérculo também é afetada pelas altas temperaturas e diversas anomalias podem ocorrer: manchas internas necróticas (IRITANI; WELLER; KNOWLES, 1984), descoloração dos anéis vasculares dos tubérculos (HOOKER, 1981), deformação da forma do tubérculo, formação de tubérculos secundários, brotação dos tubérculos (BODLAENDER; LUGT; MARINUS, 1964; HOCKER, 1981), redução da matéria seca (MARINUS; BODLAENDER, 1975), rachaduras (LUGT; BODLAENDER; GOODJIC, 1964; HILLER; THORNTON, 1993) aumento do nível de glicoalcalóides esteroidais (SINDEN;

SANFORD; WEBB, 1984), e enraizamento dos tubérculos no solo (DIMENSTEIN et al., 1997; LEVY, 1986). A dormência é curta ou eliminada (LEVY; VEILLEUX, 2007). De forma geral o efeito das temperaturas altas nas plantas pode ser em nível morfológico, fisiológico e molecular (Tabela 2).

O balanço da radiação solar que entra e sai da terra determinam o equilíbrio da temperatura terrestre. A emissão de gases do efeito estufa reduz a eficiência da radiação da terra para o espaço, produzindo o aquecimento global. A emissão de gases do efeito estufa é devido a causas das atividades humanas (INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC, 2001).

Tabela 2 Efeito das altas temperaturas na batata (LEVY; VELLEUX, 2007)

<b>Morfológicos</b>	<b>Fisiológicos</b>	<b>Moleculares</b>
Crescimento rápido de brotos	Inibição de enzimas relacionadas à fabricação de amido	Expressão dos genes alterada
Atraso da tuberização	Redução da taxa fotossintética	Expressão de HSPs
Poucos tubérculos por planta	Aumento de ácido giberélico	Danificação da membrana e proteínas
Quebra da dormência	Aumento do nível de glicoalcaloides esteroidais	Diminuição da atividade a ADPG pirofosforilase no tubérculo
Defeitos dos tubérculos	Redução da partição de fotoassimilados ao tubérculo	Redução da atividade da sucrose sintase nos tubérculos
Conteúdo de matéria seca diminui	Dano do fotossistema II	
	Aumento da respiração	

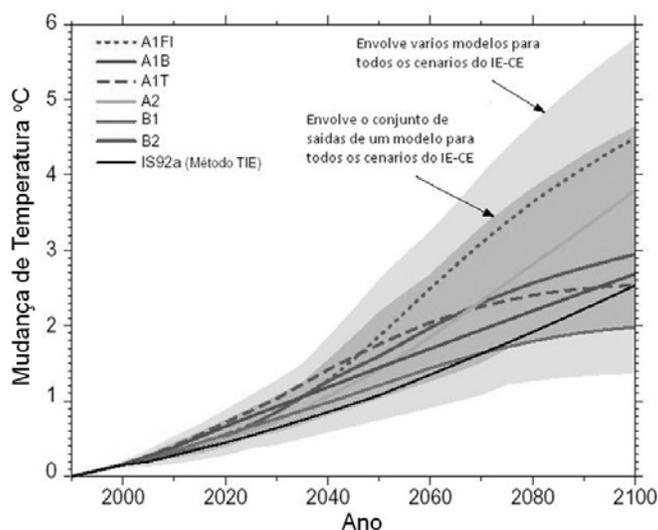
A partir da constatação deste fato tem-se realizado predições da temperatura da superfície terrestre utilizando modelos complexos da física (Gráfico 1). Na América Latina o aquecimento global provocará impactos a agricultura. A produtividade de algumas culturas será favorecida, como a soja

(Brasil-21%, Argentina-14% no sudeste da America do Sul 40%, Café (Costa Rica). Mas também as produtividades serão prejudicadas em outras: Arroz (Guiana-16%, Costa Rica-31%, Guatemala-27%, Bolívia-15%), Milho (Brasil-30%, Honduras-21%, Argentina-17%) e outros cereais. Redução de área de plantio para o Café (Brasil-97%, México-78%) (MAGRIN et al., 2007). No mundo, sem considerar o efeito do aumento do CO<sub>2</sub>, calcula-se uma diminuição geral de 30% na produtividade de grãos para 2080. Neste mesmo informe calcula-se que 50% da área de América Latina estará desertificada e salinizada até o ano 2050.

Espera-se que novas doenças e pragas aconteçam, como por exemplo, o nematóide *Meloidogine incógnita* deve aumentar nas áreas agricultáveis do Brasil. A incidência de Fusariose no trigo também deve aumentar no sul do Brasil mais que no Uruguai e Argentina (FERNANDES, 2004).

No caso da batata foi predito que para o ano 2069 o impacto da temperatura será de 1 a 1.4°C. Para o intervalo 2040-59 a produtividade será favorecida no Peru (+6%), Bolívia (+77%), Reino Unido (+8%), Canadá (+5%) e Argentina (+0.5%). E prejudicada na China (-2%), EUA (-6%), Alemanha (-16%), Holanda (-11%), França (-7%), Colômbia (-31%), Índia (-22%) e Brasil (-23%) (HIJMANS, 2003).

No caso do Brasil existe mais um agravante, pois não haveria mais áreas para adaptar a cultura da batata (HIJMANS, 2003). Neste provável cenário, o Brasil importaria batata principalmente da Argentina.



Sendo A1F1, A1B, A1T, A2, B1, B2 e IS92a cenários diferentes que incluem combinações de iniciativas locais ou mundiais no âmbito político, econômico, social, tecnológico e de crescimento populacional.

Gráfico 1 Predição da temperatura média mundial de 2000 até 2100 em diferentes cenários

Fonte: Adaptado de IPCC (2001)

### 1.3 Influência do fotoperíodo na cultura da batata

O fotoperíodo longo também parece agir em condições de calor, atrasando o início do crescimento e enchimento do tubérculo (van DAM; KOOMAN; STRUIKI, 1996).

O fotoperíodo basicamente afeta o balanço hormonal da planta (AKSENOVA et al., 2009).

Jackson (1999), Jackson et al. (2000) e Martínez-Garcia (2001) demonstraram que a quantidade e intensidade da luz influenciam a morfogênese da planta e a tuberação pelo balanço de citocininas e giberelinas nos diferentes órgãos da planta. As citocininas são importantes na divisão celular e promovem o início da tuberação (EWING; STRUIK, 1992). As giberelinas parecem ser

fundamentais no controle do crescimento das plantas (MARTÍNEZ-GARCIA, 2001).

No caso de plantas de fotoperíodo curto (FC), a tuberização pode ser dividida em cinco partes: percepção do FC pelo fitocromo B (MARTÍNEZ-GARCIA, 2002), respostas adaptativas em curto prazo, geração e transporte de sinais para início da tuberização (tuberogênese), formação do tubérculo e adaptação em longo prazo para o crescimento do tubérculo (MARTÍNEZ-GARCIA, 2001). As espécies que precisam somente de fotoperíodo curto para tuberizar são *Solanum demissum* e algumas cultivares de *Solanum tuberosum* spp. *andigena* (JACKSON, 1999).

Nas cultivares de fotoperíodo longo (FL) as giberelinas parecem ser inibidoras da tuberização (JACKSON et al., 2000). Plantas de FL quando tratadas com um inibidor de giberelinas (ancimidol) são estimuladas à tuberização (JACKSON; PRAT, 1996).

#### **1.4 Melhoramento da batata**

O processo de melhoramento da batata iniciou-se em 1851, com seleções de recombinantes de introduções feitas nos EUA a partir do Chile (ORTIZ, 2001). Uma das primeiras cultivares obtidas foi “Russet Burbank” em 1876 (LOVE et al., 1998). Até 1900 na base de dados da Universidade de Wageningen (Holanda) foram cadastrados ~ 450 cultivares e clones (van BERLOO et al., 2007; POTATO PEDIGREE DATABASE - PPD, 2010). Hoje se tem registro de mais de 4500 variedades no mundo, incluindo espécies e variedades silvestres (PIETERSE; HILS, 2010).

A variabilidade genética das cultivares européias foi reduzida por causa da requeima em 1845 a 1847 (*Phytophthora infestans*) e da verrugose da batata em 1910 (*Synchytrium endobioticum*) (ROSS, 1986). Depois, foi demonstrada a

reduzida variabilidade genética das cultivares (*Solanum tuberosum* spp *tuberosum*) nos EUA (MENDOZA; HAYNES, 1974) e na Europa (MACKAY, 1987). Na intenção de resolver este problema e aumentar a variabilidade foram introduzidos clones adaptados aos dias curtos do grupo andigena. Contudo, foram observados alguns resultados adversos como maturação tardia, grande número de tubérculos pequenos, cores inaceitáveis, formato irregular, olhos profundos, susceptibilidade a requeima.

O melhoramento de *S. tuberosum* spp. *andigena* utilizando sua própria variabilidade foi adotada como estratégia, com o intuito de adaptá-la aos dias longos. Este programa foi iniciado em 1959-1960 (SIMMONDS, 1964) e obteve sucesso depois de três gerações. Este novo grupo foi denominado neotuberosum, por ser andigena, porém, com características de tuberosum.

Em 1965 a Universidade de Cornell começou o programa de melhoramento do grupo andigena para adaptação a dias longos o qual, depois de sete ciclos de seleção, produziu clones com comportamento semelhante ao do grupo tuberosum (neotuberosum). Em 1966, na Universidade do Estado de Carolina do Norte (NCSU) começou o melhoramento de espécies diplóides *S. phureja* e *S. stenotomum* (MENDOZA, 1990). No Canadá também começava-se trabalhar com o grupo andigena (TARN; TAI, 1977), resultando o híbrido tuberosum – andigena promissor.

Os esforços de utilizar a rica variabilidade do gênero *Solanum* levaram à criação do Centro Internacional de la Papa (CIP, Lima) em 1972 (MENDOZA, 1990). Um dos trabalhos realizados no CIP foi cruzar tuberosum e neotuberosum resultando híbridos com rendimento maior que dos híbridos entre tuberosum. Esta é a origem dos clones LT2 e LT-4 (LT: Low tropic) os quais são adaptados aos trópicos baixos (MENDOZA, 1990)

No intuito de utilizar as batatas silvestres no melhoramento da batata (*Solanum tuberosum*), os melhoristas encararam o problema de cruzamentos

interespecíficos com diferentes níveis de ploidia. O professor emérito da Universidade de Wisconsin, Dr. Stanley Peloquin fez a maior contribuição nesta área. Foi orientador de melhoristas de batata de 34 países e criador do maior centro de pesquisa de genética de batata (UNIVERSIDADE DE WISCONSIN - UW, 2010; Ortiz et al., 2009). Ele e colegas trabalhando com a cultivar “Katahdin” (4x) x *S. phureja* (2x) descobriram haplóides de “Katahdin” (HOUGAS; PELOQUIN, 1957). Logo, conseguiram-se haploidizar uma série de cultivares (4x) e fazer o melhoramento no nível 2x. Outro passo foi a descoberta de gametas 2n em populações híbridas de haplóides (2x) e silvestres (2x) (PELOQUIN et al., 1989). Posteriormente, observou-se que espécies silvestres diplóides fêmeas podiam produzir gametas 2n (ORTIZ et al., 2009), permitindo o cruzamento direto de cultivares com espécies diplóides. O Dr. Peloquin propôs os sistemas de cruzamento 4x-2x, 2x-2x e 2x-4x, sendo que em cada cruzamento a primeira parte representa o parental feminino e o segundo o parental masculino. A estratégia 4x-2x foi a mais bem sucedida, pela alta frequência de pólen 2n produzido pelo fenômeno de restituição da primeira divisão, o qual produz maior variabilidade genética. Os gametas assim produzidos transmitem 80% da heterozigosidade do genitor (MENDOZA, 1990). No caso do sistema de cruzamento 2x-4x o sucesso é mais limitado pela dificuldade da caracterização citológica do parental feminino (HANNEMAN; PELOQUIN, 1968). Parece que os gametas 2n no megasporócito são produzidos comumente por omissão da segunda divisão meiótica (STELLY; PELOQUIN, 1986).

Têm-se usado espécies silvestres para cruzar com *tuberosum* tais como *S. phureja*, *S. acaule*, *S. bulbocastanum*, *S. stoloniferum*, *S. polytrichon*, *S. fendleri*, *S. etuberosum*, *S. brevidens*, *S. fernandezianum* e *S. pinnatisectum* (MENDOZA, 1990).

### 1.5 Melhoramento de batata no Brasil

O melhoramento da batata no Brasil tem liberado várias cultivares (Tabela 3). Mas apenas três variedades têm sido usadas pelos agricultores intensivamente: Baronesa, Santo Amor (em Rio Grande do Sul) e Aracy (no nordeste) (BUSO, 1990).

Atualmente dois programas de melhoramento de batata são tradicionais no Brasil. Estes são o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e Embrapa Clima Temperado (antigos IAS, IPEAS, UEPAE de Cascata e CNPFT). O primeiro iniciou atividades em 1935 (MIRANDA; GRANJA, 2000) e o segundo desde 1946 (PEREIRA, 2003). Estes programas são responsáveis pela maioria das cultivares lançadas no Brasil.

Outros programas nacionais e estaduais foram criados. Um programa nacional é o programa do Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças (CNP/EMBRAPA) que teve suas atividades iniciadas em 1980 e em cinco anos já tinha avaliado 58600 clones (BUSO, 1990). O material foi originário do CIP, Universidade de Cornell e Universidade de Wisconsin. Este programa tem como objetivo a geração de clones avançados para as diversas necessidades da bataticultura brasileira e cedê-los às instituições parceiras.

Em relação aos programas estaduais, foram criados em Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Paraná, Minas Gerais e Goiânia.

A Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) iniciou seu trabalho em 1956, realizando 1500 cruzamentos. Este programa paralisou no início da década de sessenta (MOMENTÉ, 1994). Depois foi reativado com ajuda da Universidade Federal de Viçosa em 1971, contudo paralisou no final da década de 1980 (BUSO, 2000).

O programa da empresa de pesquisa agrícola de Santa Catarina (EPAGRI) iniciou atividades no melhoramento de batata em 1978, realizando

recomendação de cultivares e lançando duas variedades (SOUZA; SILVA, 2000) continuando ativo.

A empresa Goiânia de pesquisa agropecuária (EMGOPA) iniciou atividades em 1982 com ajuda do CNPH. O objetivo era obter clones adaptados a solos do cerrado. Neste programa destacou um clone chamado NA-3, porém não foi recomendado pela baixa produtividade (FILGUEIRA, 1989 citado por MOMENTÉ, 1994). Atualmente esta empresa tem o nome de Agência Rural (MELO, 2008).

O Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) começou o programa de melhoramento de batata em 1975. Este programa tem parceria com o CNPH (SCOTTI, 2000).

Os programas de melhoramento das Universidades Federais de Lavras (MG) e Santa Maria (RS) não lançaram variedades. Eles iniciaram atividades em 1989 (PINTO, 2000) e 1995 respectivamente. O esforço em melhoramento está mais relacionado à pesquisa. O programa da UFSM é parte de uma parceria para a produção de batata-semente de qualidade (BISOGNIN, 2000).

Tabela 3 Lista de cultivares de batata brasileiras

<b>Cultivar</b>	<b>Ano</b>	<b>Instituição</b>	<b>Parentais</b>
Macaca	?	CPACT	
Aracy	1949	IAC	Katahdin x Profijt
Piraquara	1949	IAC	
Itaiquara	1953	IAC	
Baronesa	1955	CPACT	Loman OP
Colorada	1955	CPACT	FHT 1 OP
Canguçu	1957	CPACT	Benekita x Delta
Piratani	1957	CPACT	Colorada x Delta
Santo Amor	1957	CPACT	Konsuragis x Baronesa
Abaeté	1958	IAC	
Tebere	1959	IAC	
Cascata	1976	CPACT	Bintje x Baronesa
Cerrito Alegre	1976	CPACT	Bintje x Baronesa
Santa Silvana	1976	CPACT	Baronesa PR I x Baronesa PR II
Jacy	<1980	IAC	Katahdin x Profijt
Yara	<1980	IAC	
Mantiqueira	1981	EPAMIG	Cosima x Hidra
Mineira	1981	EPAMIG	Cosima x Tondra
Chiquita	1981	EPAMIG	Delta x Pamir
Monte Bonito	1985	CPACT	A-726-2-70 x Hydra
Trapeira	1985	CPACT	Baronesa PR I x Baronesa PR II
Apuá	1986	IAC	
Itararé	1986	IAC	Arensa x Turma x Leo (?)
Contenda	1987	IAPAR/CNPH	OP ?
Aracy Ruiva	1991	IAC	Mutante de Aracy
Catucha	1995	CPACT	2-CRI-1149-1-78 x C-999-263-70
IAC Duvira	1995	IAC	
Catucha	1995	EPAGRI/ CNPFT	
Cristal	1996	CPACT/EMATER	CRI-420-12-60 x C-368-8-60
Araucária	1999	IAPAR/CNPH	
BRS Perola	2000	CPACT	2-CRI-1149-1-78 x Granola
BRS Eliza	2001	CPACT	Edzina x Recent
BRS Ana	2007 ?	CPACT	
Aram		GN	
Puã		GN	
Yapira		GN	
Anajé		GN	
Aracê		GN	

## 1.6 Melhoramento para tolerância ao calor

A tolerância ao calor tem sido encontrada tanto em cultivares e espécies de *Solanum* silvestres (LEVI; VEILLEUX, 2007).

Em outras culturas tem-se utilizado técnicas de fisiologia para fazer avaliação de plantas. Por exemplo, o teste de clorofila, o da capacidade fotossintética de folha única, e a de quantificação de clorofila fluorescente (SELMANI; WASSON, 1993). Mas todas estas técnicas são altamente influenciadas pelo ambiente, pois são tomadas num determinado momento para um determinado fenômeno.

Mas sabe-se que a tolerância ao calor é um complexo de reações que determinam este comportamento (SUNG et al., 2003). Também foi visto em *Arabidopsis* que a tolerância ao calor teria dois níveis: o basal, relacionado com características inerentes da planta que dão o efeito de termotolerância e o adquirido, por causas genéticas (LARKINDALE et al., 2005). Está claro que as técnicas fisiológicas de avaliação não servem para objetivos de melhoramento por serem muito influenciadas pelo ambiente (SENTHIL-KUMAR et al., 2006).

Em batata, uma estratégia que permite verificar variabilidade genética ao estresse severo de calor é a aclimatação prévia dos *seedlings* (SRIKANTHBABU et al., 2002; UMA; PRASAD; KUMAR, 1995). Esta metodologia foi proposta porque a aplicação direta do estresse severo de calor reduzia à variabilidade. Sendo esta metodologia mais fiel ao que acontece em condições de campo onde a temperatura aumenta gradualmente até atingir o pico. O que se avalia é a capacidade de recuperação ao estresse ou sobrevivência (SENTHIL-KUMAR, 2007). Desta forma pode-se avaliar uma grande quantidade de *seedlings* em pouco tempo.

Neste mesmo sentido em batata, foi proposto a avaliação da capacidade de tuberização em populações de *seedlings* (SATTELMACHER, 1983). A

avaliação era feita às três e sete semanas correspondendo à produtividade aos 50 dias e ao final do ciclo respectivamente. A maturação tardia parece ser é o mais desejável para ter altas produtividades em condições de calor (LEVY; VEILLEUX, 2007). Outra estratégia sugerida para seleção de plantas tolerantes ao calor é o uso de meios de cultura *in vitro*, porém não mostrou eficiência para produtividade de tubérculos (GOPAL; MINOCHA, 1998).

Um exemplo de melhoramento convencional com seleção em campo em locais de temperaturas altas é o programa de melhoramento do CIP para tolerância ao calor. Este programa se iniciou com 6000 clones e depois de sete ciclos de seleção recorrente para precocidade e tolerância ao calor se conseguiu o progresso de 30% em produtividade. Alguns clones avançados deste programa são DTO-2, DTO-28, DTO-33, N565.1, LT-1, LT-2, LT-4, LT-5, LT-6 e LT-7. Estes clones têm constituição genética de *tuberosum*, *neotuberosum*, *phureja* e *stenotomum*. Os clones LT-8 e LT-9 são híbridos *tuberosum* x *andigena* com tolerância ao calor e imunes ao PVX e PVY (MENDOZA, 1990).

A estratégia de melhoramento de diplóides utilizando os cruzamentos 4x-2x também foi usada com o objetivo de obter clones com tolerância ao calor. Veilleux, Paz e Levy (1997) utilizaram as espécies *S. phureja*, *S. berthaultii*, *S. microdontum*, *S. chacoense*, e cruzaram com os dihaplóides de *S. andigena* (adg PIs 347773 e 47325) e depois foram cruzadas com a cultivar “Atlantic”, resultando clones tetraplóides resistentes ao calor.

No Brasil, as primeiras avaliações de clones visando tolerância ao calor em condições do Sul de Minas Gerais foram feitas pelo programa de melhoramento de batata da UFLA. Foram utilizados clones do CIP denominados LT-7, LT-8, LT-9 e DTO-28 em condições de calor e de temperaturas amenas. Ocorreu perda da produtividade de 25,5%, devido ao atraso na tuberização e redução na partição de fotoassimilados para os tubérculos, redução de matéria

seca e aumento na porcentagem de tubérculos rachados e embonecados (MENEZES et al., 1999).

Os clones introduzidos do CIP foram cruzados com cultivares desenvolvidas no país, tais como Itararé, Baronesa, Aracy, EPAMIG 76-0580 e EPAMIG 76-0526 e a cultivar holandesa Baraka. O clone LT-7 apresentou a maior capacidade combinatória para produtividade de tubérculos e peso específico de tubérculos. Ainda, reportaram-se clones resistentes ao calor e mais produtivos que as cultivares tanto na safra das “águas” (agosto-dezembro) como do “inverno” (abril-julho) (LAMBERT; PINTO; MENEZES, 2006). Com o objetivo de obter clones e cultivares que respondam tanto em condições temperadas como no calor, o autor recomendou como estratégia de seleção de clones, utilizar a média dos ambientes contrastantes, levando em consideração as informações de gerações passadas. Em continuação ao trabalho anterior, foi verificado o progresso genético de clones avançados quando se aplicou dois ciclos de seleção recorrente para tolerância ao calor (BENITES, 2007).

Entre as cultivares brasileiras, a Aracy foi considerada como adequada a climas tropicais (MIRANDA FILHO, 2000).

Não se tem informações sobre as fontes de tolerância e estratégias dos programas de melhoramento da Embrapa, a qual tem feito seleções para tolerância ao calor.

### **1.7 Seleção de famílias clonais**

Define-se família clonal ao conjunto de irmãos germanos, produto de um cruzamento biparental. Nesta estratégia, considera-se a média da família ou progênie como fator para selecioná-la, sem levar em conta a informação individual de clones

Em batata, a seleção clonal em gerações precoces tem-se mostrado ineficiente para caracteres agronômicos (CALIGARI; BROWN; ABBOTT, 1986; MARTIN, 1984; SWIEZYNSKI, 1984) e nenhuma seleção poderia ser praticada na geração seedling (BROWN et al., 1987). A seleção de indivíduos na GS e PGC é ineficiente, pois não há repetições, há competição entre plantas na parcela e a herdabilidade é baixa. Em relação a esta última, COX et al. (1996) afirmam que a seleção individual será superior que a seleção de famílias, se a herdabilidade individual for maior que 0,5.

A seleção de famílias é uma alternativa à seleção clonal de plantas individuais (seleção massal) e por muito tempo não tem sido considerada no melhoramento. Ainda, a estimação das variâncias entre e dentro de famílias não tem sido acurada, pelo trabalho que se precisa para estimá-las (SIMONDS, 1996).

Tem sido verificada a eficiência da seleção de famílias (progênies) sobre a seleção massal em várias culturas, por exemplo, para produtividade em acerola (PAIVA et al., 2002), produtividade em cana-de-açúcar e outros caracteres (KIMBENG; COX, 2003), dendê (CEDILLO et al., 2008), pinus (REZENDE et al., 1995), seringueira (Costa et al., 2000). Em batata GAUTNEY; HAYNES (1983); (BROWN; CALIGAR; MACKAY, 1987) reportaram que a seleção de famílias é consistente mesmo considerando locais diferentes, casa de vegetação ou campo, sendo isso confirmado por outros trabalhos (BRADSHAW et al., 1998; BRADSHAW et al., 2009; GOPAL, 1997; GOPAL, 2006; KUMAR; SOUZA et al, 2005; MELO, 2007; PEIXOUTO, 2009). Em cana-de-açúcar foi observada interação família x local para algumas características, porém para outras como a produção de açúcar foi mais estável. Assim recomenda-se ter cuidado ao escolher o local para realizar a seleção de famílias (JACKSON; McRAE; HOGARTH, 1995).

Normalmente a seleção dentro de famílias é feita no delineamento de blocos ao acaso, sendo as famílias os tratamentos e as parcelas são constituídas de plantas irmãs. No intuito de uniformizar a competitividade dentro da parcela, van Dijk e Winkelhorst (1978) propuseram para plantas forrageiras o modelo de “plantas espaçadas na grama”. Equivalendo para o caso da batata, o uso de plantas testemunhas entre as plantas irmãs dentro da parcela.

Por outro lado, com o intuito de melhorar a técnica da seleção de famílias, foi proposto em cana-de-açúcar, testar maior número de famílias. Ao invés de poucas famílias com maior número de *seedlings* (HOGARTH; WU; HEINZ, 1981).

Bradshaw et al. (1998), propuseram fazer seleção visual entre famílias de irmãos germanos de batata na geração *seedling* (GS), e deixar a seleção dentro para a primeira geração clonal (PGC).

Em relação à intensidade de seleção de famílias entre e dentro tem-se varias propostas. A partir de um modelo teórico foi proposto aplicar intensidade de seleção mais fraca entre famílias para depois aplicar uma intensidade igual ou maior dentro de famílias clonais. Isto seria uma forma de aumentar a intensidade de seleção (CASLER; BRUMMER, 2008). O método adotado em batata pelo Scottish Crop Research Institute (SCRI, Escócia) desde 1991 é seleção entre famílias. No primeiro ano se realiza os cruzamentos. Após isso, no segundo ano faz-se a seleção de famílias para doenças e aparência em casa de vegetação. No terceiro ano, leva-se para o campo as famílias selecionadas e escolhem-se os melhores indivíduos para fazer a recombinação e continuar o ciclo de seleção recorrente (BRADSHAW et al., 2009). Eles trabalharam com aproximadamente 130 famílias na geração *seedling* e aplicaram intensidades de seleção de 20 a 30% entre famílias e 6 a 15% dentro de famílias, ficando com aproximadamente 30 clones.

Estudos de simulação em cana-de-açúcar mostraram que intensidades de seleção dentro de famílias de 40, 30, 25 e 10% e entre famílias de 10, 20, 30 e 40% são ótimos. Estas intensidades de seleção dependem da amplitude da base genética utilizada entre famílias. Contudo, a seleção de famílias em geral varia de 30 a 40% (KIMBENG; COX, 2003).

Em outro estudo foi verificada alta correlação entre médias de famílias entre gerações *seedling*, primeira e segunda geração clonal para produtividade e outros caracteres (KUMAR; GOPAL, 2006).

A seleção de famílias para peso específico dos tubérculos parece ser importante, pois as herdabilidades de famílias de meios-irmãos encontradas foram de 0,43 (RUTTENCURTER; HAYNES; MOLL, 1979), 0,5 e 0,9 (CAPEZIO; HUARTE; CARROZZI, 1993). Para famílias não parentais a herdabilidade no sentido amplo foi de 0,68 (CAPEZIO; HUARTE; CARROZZI, 1993).

Estimativas da variância entre e dentro de famílias em batata mostram que a variância dentro é superior à variância entre famílias (DINIZ; PINTO; LAMBERT, 2006). Porém, as herdabilidades entre famílias são superiores as herdabilidades dentro de famílias (GOPAL, 2001; MELO, 2007).

Para aproveitar as vantagens da seleção de famílias tentou-se adaptar a seleção combinada preconizada por LUSH (1947) para animais. A seleção combinada pode ser entendida como a seleção que considera a informação entre e dentro famílias simultaneamente através de um índice (FALCONER; MACKAY, 1996). Em cana-de-açúcar seleciona-se na geração *seedling* em nível de famílias para produtividade, mas ao mesmo tempo dentro de cada família selecionada se faz uma seleção visual e uma seleção do conteúdo de sólidos solúveis (Brix) de indivíduos (KIMBENG; COX, 2003).

A estratégia da seleção de famílias é amplamente utilizada nos programas de melhoramento de cana-de-açúcar na geração *seedling* na Austrália

(JACKSON; McRAE, 1998). Nas avaliações deste país, podem envolver até 200 famílias com 100 indivíduos cada na geração *seedling*. São selecionadas 18% das famílias superiores (KIMBENG; COX, 2003).

Em batata, Melo (2007) trabalhando com batata desde a PGC até a TGC no nível de famílias, sugeriu intensidade de seleção de 50% entre famílias e de 10% dentro. Peixoto (2009) também trabalhando com batata na quarta geração clonal verificou eficiência da seleção utilizando intensidade de 45% entre e 16% dentro.

Considerando as bases teóricas da seleção de famílias, Simonds (1996), calculou a porcentagem de participação dos melhores clones nas melhores famílias. Ele simulou um experimento com 50 famílias com distribuição normal, com média geral 80 e desvio padrão entre e dentro de famílias de oito. Observou que as cinco primeiras famílias da classificação (10% das famílias), apresentavam 60% dos indivíduos superiores e que 20% das famílias superiores apresentavam aproximadamente 70% dos indivíduos superiores. Mostrando assim, a eficiência teórica de intensidades altas em níveis de famílias.

Em outro trabalho Casler e Brummer (2008) mostraram um modelo teórico para plantas diplóides. Eles verificaram a maior eficiência da seleção entre famílias como primeiro passo, para depois proceder à seleção dentro de famílias. Famílias de meios-irmãos apresentaram maior ganho que famílias de irmãos germanos. A razão disto seria que a variância aditiva dentro de famílias é mais explorada em famílias de meios-irmãos (ver fórmulas I e II). Contudo, este problema pode ser contornado para o caso de irmãos germanos, tendo maior quantidade de indivíduos por progênie. Nesse trabalho também foi demonstrada a eficiência de elevadas intensidades de seleção dentro de famílias, embora a herdabilidade entre famílias de irmãos germanos era 0,2.

$$RS_{FMI} = k_F c(1/4)\sigma_A^2/\sigma_{PF} + k_W c(3/4)\sigma_A^2/\sigma_{PW} \quad (I)$$

$$RS_{FIG} = k_F c(1/2)\sigma_A^2/\sigma_{PF} + k_W c(1/2)\sigma_A^2/\sigma_{PW} \quad (II)$$

Sendo:

$RS_{FMI}$ : Resposta à seleção para famílias de meios – irmãos

$RS_{FIG}$ : Resposta à seleção para famílias de irmãos – germanos

$k_F$ : Diferencial de seleção estandarizado

$\sigma_A^2$  = Variância aditiva

$c$  = Fator de controle parental. Ambos pais: 1, um pai: 1/2.

$\sigma_{PF}$  = Desvio padrão fenotípico entre famílias

$\sigma_{PW}$  = Desvio padrão fenotípico dentro de famílias

Os componentes das variâncias teóricas entre e dentro de famílias para plantas autotetraplóides foi mostrado por Gallais (2003) (fórmulas III e IV). A partir destas formulas se deduz que a variância dentro de meios irmãos ou irmãos germanos de autotetraplóides é maior que variância entre famílias.

$$\sigma_F^2 = (1/4)\sigma_A^2 + (1/36)\sigma_D^2 \quad (\text{meios irmãos}) \quad (III)$$

$$\sigma_F^2 = (1/2)\sigma_A^2 + (2/9)\sigma_D^2 + (1/12)\sigma_T^2 + (1/36)\sigma_Q^2 \quad (\text{irmãos germanos}) \quad (IV)$$

Sendo:

$\sigma_A^2$  : Variância aditiva

$\sigma_D^2$ : Variância de dominância

$\sigma_T^2$ : Variância genética trigênica

$\sigma_Q^2$ : Variância genética tetragênica

### 3 CONCLUSÃO

A tolerância ao calor é uma característica desejável nas cultivares de batata brasileira. Porém é de difícil entendimento em sua parte genética, molecular, fisiológica e morfológica. É preciso fazer pesquisas e desenvolver populações de batata com média alta de produtividade e qualidade. Também, é preciso avaliar maior quantidade de *seedlings* por ano para tolerância ao calor. Adaptar estratégias que permitam selecionar populações e clones de forma precoce se faz necessário. Neste sentido a seleção de famílias, na geração *seedling* ou na primeira geração clonal, poderia ajudar a avaliar maior quantidade de plantas com eficiência e rapidez. Este procedimento tem mostrado eficiência comprovada no melhoramento de cana-de-açúcar e vem sendo testada em batata. Porém, a seleção de famílias em batata visando tolerância ao calor em batata não tem sido reportada.

No caso do Brasil, a tolerância ao calor é uma característica desejável pelo clima tropical e subtropical que possui e pelas predições desfavoráveis das mudanças climáticas, as quais provavelmente afetarão severamente a produção de batata no país. Embora esta seja a situação nacional, os programas de melhoramento genético de batata no Brasil não parecem ter esta característica como prioridade. O intercâmbio de material genético entre os programas de melhoramento nacionais se faz necessário.

## REFERÊNCIAS

- AKSENOVA, N. P. et al. Interaction between day length and phytohormones in the control of potato tuberization in the in vitro culture. **Russian Journal of Plant Physiology**, Moscow, v. 56, n. 4, p. 454-461, 2009.
- BENITES, F. R. G. **Seleção recorrente em batata visando tolerância ao calor**. 2007. 90 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.
- BISOGNIN, D. A. **Melhoramento genético de batata na Universidade Federal de Santa Maria**. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE PESQUISA EM MELHORAMENTO DE BATATA, 1., 2000, Brasília. **Memórias...** Brasília, 2000. Disponível em: <[www.cnph.embrapa.br/public/batata.rtf](http://www.cnph.embrapa.br/public/batata.rtf)>. Acesso em: 15 jan. 2010.
- BODLAENDER, K. B. A.; LUGT, C.; MARINUS, J. Observations on the induction of second growth in potato tubers. **Potato Research**, Wageningen, v. 7, p. 219- 227, 1964.
- BORAH, M. N.; MILTHORPE, F. L. Growth of the potato as influenced by temperature. **Indian Journal of Plant Physiology**, New Delhi, n. 5, p. 53-72, 1962.
- BRADSHAW, J. E. et al. Early-generation selection between and within pair crosses in a potato (*Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum*) breeding programme. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 97, p. 1331-1339, 1998.
- BRADSHAW, J. E.; DALE, M. F. B.; MACKAY, G. R. Improving the yield, processing quality and disease and pest resistance of potatoes by genotypic recurrent selection. **Euphytica**, Wageningen, v. 170, n. 1/2, p. 215-227, 2009.
- BROWN, J. et al. The efficiency of visual selection in early generations of a potato breeding programme. **Annals of Applied Biology**, Helsinki, v. 110, n. 2, p. 357-363, 1987.
- BROWN, J.; CALIGARI, P. D. S.; MACKAY, G. R. The repeatability of progeny means in the early generations of a potato breeding programme. **Annals of Applied Biology**, Helsinki, v. 110, n. 2, p. 365-370, 1987.

BURTON, W. G. Challenges for stress physiology in potato. **American Potato Journal**, Orono, v. 58, n. 3, p. 14, 1981.

BUSO, J. A. Os Programas de melhoramento. In: HIDALGO, O.; RINCON, R. H. (Ed.) **Avances en el mejoramiento genético de la papa en los países del Cono Sur**. Lima: CIP, 1990. 309 p.

BUSO, J. A. et al. Melhoramento genético de batata na EMBRAPA Hortaliças. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE PESQUISA EM MELHORAMENTO DE BATATA, 1., 1966, Londrina. **Memórias...** Brasília: EMBRAPA Hortaliças, 2000. (Documentos, 27). Disponível em: <[www.cnph.embrapa.br/public/batata.rtf](http://www.cnph.embrapa.br/public/batata.rtf)>. Acesso em: 13 jan. 2010.

CAMEJO, D. et al. High temperature effects on photosynthetic activity of two tomato cultivars with different heat susceptibility. **Journal of Plant Physiology**, Irvine, v. 162, n. 3, p. 281-289, 2005.

CALIGARI, P. D. S.; BROWN, J.; ABBOTT, R. J. Selection for yield and yield components in the early generations of a potato breeding programme. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 73, n. 2, p. 218-222, 1986.

CAPEZIO, S.; HUARTE, M.; CARROZZI, L. Selección por peso específico en generaciones tempranas en el mejoramiento de la papa. **Revista Latinoamericana de la papa**, Bogotá, v. 5, n. 6, p. 54-63, 1993.

CASLER, M. D.; BRUMMER, E. C. Theoretical expected genetic gains for Among-and-Within-Family selection methods in perennial forage crops. **Crop Science**, Madison, v. 48, n. 3, p. 890-902, 2008.

CEDILLO, D. S. O. et al. Selection among and within and combined selection in oil palm families derived from Dura x Dura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 65-71, 2008.

CHOER, E. Origem e evolução. In: PEREIRA, A. S.; DANIELS, J. **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. Brasília: EMBRAPA, 2003. p. 57-68.

COSTA, R. B. et al. Seleção combinada univariada e multivariada aplicada ao melhoramento genético da seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 381-388, 2000.

COX, M. C. et al. Family selection improves the efficiency and effectiveness of sugarcane improvement program. In: WILSON, J. R. et al. **Sugarcane: Research towards efficient and sustainable production**, 1996. p. 42-43.

DAVIS, G. E. The effects of certain environmental factors on tuberization in the wild potato *Solanum commersonii*. **American Potato Journal**, Orono, v. 18, p. 266-269, 1941.

DIMENSTEIN, L. et al. Changes in the content of steroidal glycoalkaloids in potato tubers grown in the field and in the greenhouse under different conditions of light, temperature and daylength. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, East Lansing, v. 150, p. 391-402, 1997.

DINIZ, M. C.; PINTO, C. A.; LAMBERT, E. S. Sample size for family evaluation in potato breeding programs. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, p. 277-282, 2006.

DWELLE, R. B.; KLEINKOPF, G. E.; PAVEK, J. J. Stomatal conductance and gross photosynthesis of potato (*Solanum tuberosum* L.) as influenced by irradiance, temperature, and growth stage. **Potato Research**, Wageningen, v. 24, p. 49-59, 1981.

EWING, E. E.; STRUIK, P. C. Tuber formation in potato: induction, initiation and growth. **Horticultural Reviews**, Leuven, n. 14, p. 89-197, 1992.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4. ed. London: Longman, 1996. 464 p.

FERNANDES, J. M. Modelling fusarium head blight in wheat under climate change using linked process-based models. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FUSARIUM HEAD BLIGHT, 2., Michigan. **Proceedings...** Michigan, 2004. p. 441-444. Disponível em: <<http://www.scabusa.org/forum.html#isfhb2>>. Acesso em: 19 jan. 2010.

FRODIN, D. G. History and concepts of Big Plant Genera. **Taxon**, Áustria, v. 53, n. 3, p. 753-776, 2004.

GALLAIS, A. **Quantitative genetics and breeding methods in autopolyploid plants**. Paris: INRA, 2003. 516 p.

- GAUTNEY, T. L.; HAYNES, F. L. Recurrent selection for heat tolerance in diploid potatoes (*Solanum tuberosum* subsp. *phureja* and *stenotomum*). **American Potato Journal**, Orono, v. 60, p. 537-542, 1983.
- GOPAL, J. Between and within families variation and family selection in potato breeding programmes. **Journal of Genetics and Breeding**, Roma, v. 55, p. 313-318, 2001.
- GOPAL, J. Progeny selection for agronomic characters in early generations of a potato breeding programme. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 95, n. 1-2, p. 307-311, 1997.
- GOPAL, J.; KUMAR, R. Repeatability of Progeny Mean, Combining Ability, Heterosis and Heterobeltiosis in Early Generations of a Potato Breeding Programme. **Potato Research**, Wageningen, v. 49, p. 131-141, 2006.
- GOPAL, J.; MINOCHA, J. L. Effectiveness of in vitro selection for agronomic characters in potato. **Euphytica**, Wageningen, v. 103, p. 67-74, 1998.
- HANNEMAN, R. E.; PELOQUIN, S. J. Ploidy levels of progeny from diploid-tetraploid crosses in the potato. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 45, n. 7, p. 255-261, 1968.
- HAVAUX, M. Rapid photosynthetic adaptation to heat stress triggered in potato leaves by moderately elevated temperatures. **Plant, Cell & Environment**, Oxford, v.16, p. 46-467, 1993.
- HAWKES, J. G. Origins of cultivated potatoes and species relationships. In: BRADSHAW, J. E.; MACKAY, G. R. (Ed.). **Potato genetics**. Cambridge: CAB International, 1994. p. 3-42.
- HAWKES, J. G.; FRANCISCO-ORTEGA, F. The early history of the potato in Europe. **Euphytica**, Wageningen, 1993. v. 70, p. 1-7.
- HIJMANS, R. J. Global distribution of the potato crop. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 78, n. 6, p. 403-412, 2001.
- HIJMANS, R. J. The effect of climate change on global potato production. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 80, n. 4, p. 271-279, 2003.
- HILLER, L. K.; THORNTON, R. E. Management of physiological disorders. In: ROWE, R. C. **Potato health management**. St. Paul: APS, 1993. 125 p.

HOGARTH, D. M.; WU, K. K.; HEINZ, D. J. Estimating genetic variance in sugarcane using a factorial cross design. **Crop Science**, Madison, v. 21, p. 21-25, 1981.

HOOKER, W. J. **Compendium of Potato Diseases**. St. Paul: American Phytopathological Society, 1981.

HOUGAS, R. W.; PELOQUIN, S. J. A haploid plant of the potato variety Katahdin. **Nature**, London, v. 180, p. 1209-1210, 1957.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2001: the Scientific Basis. 2001. Disponível em: <[http://www.grida.no/publications/other/ipcc\\_tar/](http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/)>. Acesso em: 15 jan. 2010.

IRITANI, W. M.; WELLER, L. D.; KNOWLES, N. R. Factors Influencing Incidence Of Internal Brown Spot In: Russet Burbank Potatoes. **American Journal of Potato Research**, Wageningen, v. 61, n. 6, p. 335-343, 1984.

JACKSON, S. D. Multiple signaling pathways control tuber induction in potato. **Plant physiology**, Waterbury, v. 119, n. 1, p. 1-8, 1999.

JACKSON, S. D. et al. Regulation of Transcript Levels of a Potato Gibberellin 20-Oxidase Gene by Light and Phytochrome B. **Plant physiology**, Waterbury, v. 124, p. 423-430, 2000.

JACKSON, S. D.; PRAT, S. Control of tuberization in potato by gibberellins and phytochrome B. **Plant physiology**, Waterbury, v. 98, p. 407-412, 1996.

JACKSON, P. A.; MCRAE, T. A. Gains from selection of broadly adapted and specifically adapted sugarcane families. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 59, n. 3, p. 151-162, 1998.

JACKSON, P. A.; McRAE, T. A.; HOGARTH, D. M. Selecting sugarcane families across variable environments. Sources of variation and an optimal selection index. **Field Crops Res**, Amsterdam, v. 43, p. 109-118, 1995.

JONES, L. R.; McKINNEY, H. H.; FELLOWS, H. **The influence of soil temperature on potato scab**. Madison: Universidade de Wisconsin, 1922. 35 p.

KNAPP, S. Celebrating spuds. **Science**, Washington, v. 321, p. 206-207, 2008.

KIMBENG, C. A.; COX, M. C. Early generation selection of sugarcane families and clones in Australia: a review. **Journal American Society of sugarcane technologist**, Baton Rouge, v. 23, p. 20-39, 2003.

KRAUSS A, H.; MARSCHNER, H. Influence of nitrogen nutrition, daylength and temperature on contents of gibberellic and abscisic acid and on tuberization in potato plants. **Potato Research**, Wageningen, v. 25, p. 13-21, 1982.

LAFTA, A. M.; LORENZEN, J. H. Effect of high temperature on plant growth and carbohydrate metabolism in potato. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 109, p. 637-643, 1995.

LAMBERT, E. S. et al. improvement for tropical conditions: analysis of stability. **Crop breeding and applied biotechnology**, Viçosa, MG, v. 6, p. 129-135, 2006.

LARKINDALE, J. et al. Heat stress phenotypes of arabidopsis mutants implicate multiple signaling pathways in the acquisition of thermotolerance. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 138, p. 882-897, 2005.

LEVY, D. Tuber yield and tuber quality of several potato cultivars as affected by seasonal high temperatures and by water deficit in a semi-arid environment. **Potato Research**, Wageningen, v. 29, p. 95-107, 1986.

LEVY, D.; VEILLEUX, R. E. Adaptation of Potato to High Temperatures and Salinity-A Review. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 84, p. 487-506, 2007.

LOVE, S. L. et al. Breeding progress for potato chip quality in North American cultivars. **American Journal of Potato Research**, Wageningen, v. 75, n. 1, p. 27-36, 1998.

LUGT, C.; BODLAENDER, K. B. A.; GOODJIC, G. Observations on the induction of second growth in potato tubers. **Potato Research**, Wageningen, v. 7, p. 219- 227, 1964.

LUSH, J. L. Family merit and individual merit as basis for selection. **American Naturalist**, Chicago, v. 80, p. 318-342, 1947.

MACKAY, G. R. Selecting and breeding for better potato cultivars. In: ABBOTT, A. J.; ATKIN, R. K. (Ed.). **Improving vegetatively propagated crops**. London: Academic, 1987. 416 p.

MAGRIN, G. et al. **Latin America: climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability**. Cambridge: Cambridge University, 2007. p. 581-615.

Disponível em: < <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/-wg2-chapter13.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2010.

MARES, D. J.; MARSCHNER, H.; KRANSS, A. Effect of gibberellic acid on growth and carbohydrate metabolism of developing tubers of potato (*Solanum tuberosum*). **Plant Physiology**, Waterbury, v. 52, p. 267-274, 1981.

MARINUS, J.; BODLAENDER, K. B. A. Response of some potato varieties to temperature. **Potato Research**, Wageningen, v. 18, p. 189-204, 1975.

MARTIN, M. W. Early generation selection methods for resistance and horticultural factors. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 61, n. 7, p. 383-384, 1984.

MARTÍNEZ-GARCÍA, J. F.; GARCÍA-MARTÍNEZ, J. B.; PRAT, S. The Interaction of gibberellins and photoperiod in the control of potato tuberization. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 20, n. 4. p. 377-386, 2001.

MARTÍNEZ-GARCÍA, J. F.; VIRGÓS-SOLER, A.; PRAT, J. B. S. Control of photoperiod-regulated tuberization in potato by the Arabidopsis flowering-time gene CONSTANS. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 99, n. 23, p. 15211-15216, 2002.

MELO, D. S. **Viabilidade da seleção de famílias de batata em gerações precoces**. 2007. 127 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

MELO, P. E. Não faltarão hortaliças, e uma boa prosa, aos anjos do céu! **Horticultura Brasileira**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 126-127, 2008.

MENDOZA, H. Mejoramiento poblacional: una estrategia para la utilización del germoplasma de papa cultivada primitiva y especies silvestres. In: HIDALGO, O.; RINCÓN, R. H. (Ed.). **Avances en el mejoramiento genético de la papa en los países del Cono Sur**. Lima: CIP, 1990. p. 47-62.

MENDOZA, H. A.; HAYNES, F. L. Genetic relationship among potato cultivars grown in the United States. **HortScience**, Alexandria, v. 9, p. 28-330, 1974.

MENEZES, C. B. et al. Avaliação de genótipos de batata (*Solanum tuberosum* L.) nas safras “das águas” e de inverno no sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, p. 776-783, 1999.

MIRANDA FILHO, H. S.; GRANJA, N. P. Melhoramento genético de batata no Instituto Agronômico de Campinas e a bataticultura em São Paulo. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE PESQUISA EM MELHORAMENTO DE BATATA, 1., 2000, Brasília. **Memórias...** Brasília, 2000. Disponível em: <[www.cnph.embrapa.br/public/batata.rtf](http://www.cnph.embrapa.br/public/batata.rtf)>. Acesso em: 28 jan. 2010.

MOMENTÉ, V. **Comparação entre diferentes tipos de famílias clonais para o melhoramento genético da batata (*Solanum tuberosum* L.)**. 1994. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1994.

ORTIZ, R. P. et al. Ploidy manipulation of the gametophyte, endosperm and sporophyte in nature and for crop improvement: a tribute to Professor Stanley J. Peloquin (1921-2008). **Annals of Botany**, Helsinki, v. 104, n. 5, p. 795-807, 2009.

PAIVA, J. R. et al. Genetic progress of selections between and within caribbean cherry open pollination progenies. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 2, n. 2, p. 299-306, 2002.

PEIXOUTO, L. S. **Seleção de famílias vs. seleção clonal nas fases iniciais do melhoramento da batata**. 2009. 97 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

PELOQUIN, S. J. et al. Potato breeding with haploids and 2n gametes. **Genome**, Toronto, v. 32, p. 1000-1004, 1989.

PIETERSE, L.; HILS, U. **World catalogue of potato varieties 2009/2010**. Clenze: Agrimédia, 2010.

PINTO, C. A. B. P. Melhoramento genético de batata na Universidade Federal de Lavras. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE PESQUISA EM MELHORAMENTO DE BATATA, 1., 2000, Brasília. **Memórias...** Brasília, 2000. Disponível em: <[www.cnph.embrapa.br/public/batata.rtf](http://www.cnph.embrapa.br/public/batata.rtf)>. Acesso em: 18 jan. 2010.

POTATO PEDIGREE DATABASE. Wageningen University. 2010. Disponível em: <<http://www.plantbreeding.wur.nl/potatopedigree/>>. Acesso em: 27 jan. 2010.

REZENDE, M. D. V. et al. Acuracia seletiva, intervalos de confiança e var de ganhos genéticos associados a 22 métodos de seleção em *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Floresta**, Curitiba, v. 25, n. 1/2, p. 3-16, 1995.

RIOS, D. M. et al. What Is the Origin of the European Potato? Evidence from Canary Island Landraces. **Crop Science**, Madison, v. 47, p. 1271-1280, 2007.

ROSS, H. Potato breeding: problems and perspectives. In: PAREY, V. P. Advances in plant breeding. **Journal of Plant Breeding**, Berlim, 1986. supplement 13 to.

RUTTENCURTER, G.; HAYNES, F. L.; MOLL, R. H. Estimation of narrow-sense heritability for specific gravity in diploid potatoes (*Solanum tuberosum* subsp. *phureja* and *stenotomum*). **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 56, n. 9, p. 447-452, 1979.

SARQUÍIS, J. I. ; GONZALEZ, H.; BERNAL-LUGO, I. Response of two potato clones (*S. tuberosum* L.) To contrasting temperature regimes in the field. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 73, n. 7, p. 285-300, 1996.

SATTELMACHER, B. A rapid seedling test for adaptation to high temperatures. **Potato Research**, Wageningen, v. 26, n. 2, p. 133-138, 1983.

SCHLEGEL, R. H. J. **Encyclopedic Dictionary of Plant Breeding and Related Subjects**. Binghamton: Food products, 2003. 563 p.

SCOTTI, C. A. Melhoramento genético de batata no Instituto Agronômico do Paraná In: WORKSHOP BRASILEIRO DE PESQUISA EM MELHORAMENTO DE BATATA, 1., 2000, Brasília. **Memórias...** Brasília, 2000. Disponível em: <[www.cnph.embrapa.br/public/batata.rtf](http://www.cnph.embrapa.br/public/batata.rtf)>. Acesso em: 27 jan. 2010.

SELMANI, A.; WASSON, C. E. Daytime chlorophyll fluorescence measurement in the field grown maize and its genetic variability under well watered and water stress conditions. **Field Crops Res**, Amsterdam, v. 31, p. 173-84, 1993.

SENTHIL-KUMAR, M. et al. Assessment of variability in acquired thermotolerance: potential option to study genotypic response and the relevance of stress genes. **Journal of Plant Physiology**, Irvine, v. 164, n. 2, p. 111-25, 2007.

SIMMONDS, N. W. Family selection in plant breeding. **Euphytica**, Wageningen, v. 90, n. 2, p. 201-208, 1996.

SIMMONDS, N. W. Studies of the tetraploid potatoes. **Journal of the Linnean Society**, London, v. 58, p. 461-474, 1964.

SINDEN, S. L.; SANFORD, L. L.; WEBB, R. E. Genetic and environmental control of potato glycoalkaloids. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 61, n. 3, p. 141-156, 1984.

SILVA, A. C. F.; SOUZA, Z. S. Melhoramento genético de batata em Santa Catarina. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE PESQUISA EM MELHORAMENTO DE BATATA, 1., 2000, Brasília. **Memórias ...** Brasília, 2000. Disponível em: <[www.cnph.embrapa.br/public/batata.rtf](http://www.cnph.embrapa.br/public/batata.rtf)>. Acesso em: 23 jan. 2010.

SOUZA, V. Q. et al. Potential of selection among and within potato clonal families. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 5, p. 199-206, 2005.

SPOONER, D. M. et al. Nuclear and chloroplast DNA reassessment of the origin of Indian potato varieties and its implications for the origin of the early European potato. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 110, p. 1020-1026, 2005a.

SPOONER, D. M. et al. A single domestication for potato based on multilocus amplified fragment length polymorphism genotyping. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 102, n. 41, p. 14694-14699, 2005b.

SRIKANTHBABU, V. et al. Identification of pea genotypes with enhanced thermotolerance using temperature induction response technique (TIR). **Journal of Plant Physiology**, Irvine, v. 159, n. 5, p. 535-545, 2002.

STELLY, D. M.; PELOQUIN, S. J. Diploid female gametophytes formation in 24- chromosome potatoes. Genetic evidence for the prevalence of second meiotic division restitution mode. **Canadian Journal of Genetics and Cytology**, Ottawa, v. 28, p. 101-108, 1986.

SUNG, D. Y. et al. Acquired tolerance to temperature extremes. **Trends in Plant Science**, London, v. 8, n. 4, p. 179-187, 2003.

SWIEZYNSKI, K. M. Early generation selection methods used in polish potato breeding. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 61, n. 7, p. 385-394, 1984.

TARN, T. R.; TAI, G. C. C. Heterosis and variation of yield components in F1 hybrids between group tuberosum and group andigena potatoes. **Crop Science**, Madison, v. 17, p. 517-521, 1977.

UMA, S.; PRASAD, T. G.; KUMAR, U. Genetic Variability in recovery growth and synthesis of stress proteins in response to polyethylene glycol and salt stress in finger millet. **Annals of Botany**, Oxford, v. 76, p. 43-49, 1995.

UNIVERSIDADE DE WISCONSIN. **Genetics**. Madison. Disponível em: <<http://www.genetics.wisc.edu/faculty/profile.php?id=585>>. Acesso em: 28 jan. 2010.

VAN BERLOO, R. et al. An online Potato Pedigree Database Resource. **Potato Research**, Wageningen, v. 50, n. 1, p. 45-57, 2007.

VAN DAM, J.; KOOMAN, P. L.; STRUIKI, P. C. Effects of temperature and photoperiod on early growth and final number of tubers in potato (*Solanum tuberosum* L.). **Potato Research**, Wageningen, v. 39, p. 51-62, 1996.

VAN DIJK, G. E.; WINKELHORST, G. D. Testing perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) as spaced plants in swards. **Euphytica**, Wageningen, v. 27, n. 855-860, 1978.

VEILLEUX, R. E.; PAZ, M. M.; LEVY, D. Potato germplasm development for warm climates: genetic enhancement of tolerance to heat stress. **Euphytica**, Wageningen, v. 98, p. 83-92, 1997.

WAHID, A. et al. Heat tolerance in plants: An overview. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 61, n. 3, p. 199-223, 2007.

WINKLER, E. Kartoffelbau in Tirol. Photosynthese vermogen and respiration von verschiedenen kartoffelsorten. **Potato Research**, Wageningen, v. 14, p. 1-18, 1971.

ZHANG, L. et al. Inferred origin of several Native American potatoes from the Pacific Northwest and Southeast Alaska using SSR markers. **Euphytica**, Wageningen, v. 174, n. 1, p. 15-29, 2009.

## CAPÍTULO 2

### **Repetibilidade de médias de famílias em gerações precoces de batata sob condições de calor**

#### **RESUMO**

Geralmente a seleção de clones de batata para produtividade, é eficiente a partir da segunda geração clonal, em função da maior uniformidade de tamanho da batata semente e quantidade desta. No entanto, seria ideal fazer seleção a partir da geração seedling (GS) ou na primeira geração clonal (PGC) para agilizar o programa de melhoramento. O objetivo deste trabalho foi avaliar em nível de famílias a eficiência da seleção nas gerações precoces para produtividade e peso específico visando à tolerância ao calor. Foram avaliadas 30 famílias na GS, PGC, segunda (SGC), terceira (TGC) e quarta geração clonal (QGC). Foram simuladas intensidades de seleção de famílias de 3,3 a 100% na GS, PGC, SGC e TGC e obtidas repetibilidades em porcentagem. As gerações clonais foram plantadas em diferentes safras tais como seca, inverno e águas. Foram obtidas as repetibilidades em porcentagem em função das gerações iniciais, assim como correlações das médias das famílias entre gerações. Os resultados da simulação indicaram eficiência da seleção de famílias na GS e PGC para peso específico e na PGC no caso da produtividade. Para peso específico de tubérculos foi observada que na PGC as repetibilidades foram maiores que na GS em altas intensidades de seleção. Intensidade de seleção de 50% apresentou repetibilidades médias a altas tanto em condições de temperaturas amenas como em calor. Não foi observado efeito negativo da seleção de famílias. Embora as correlações entre médias de famílias forem baixas entre algumas gerações a seleção de famílias mostra-se com maior robustez na seleção de clones. Por outro lado a correlação de clones individuais na GS e PGC com gerações avançadas para ambos os caracteres mostrou que a seleção de clones individuais não é recomendável.

Palavras-chave: Seleção de famílias. *Solanum tuberosum*. Simulação computacional.

## ABSTRACT

Usually the selection of potato clones for tuber yield is efficient from the second clonal generation on reflecting the greater uniformity of size and quantity of seed potatoes. However, it would be ideal to make selection from the seedling generation (SG) or first clonal generation (FCG) to speed up the breeding program. The purpose of this study was to assess at the families level the efficiency of selection in early generations for tuber yield and specific gravity aiming at heat tolerance. Thirty families were evaluated in the SG, FCG, second (SCG), third (TCG) and fourth clonal generation (QCG). Intensities of family selection were simulated from 3.3 to 100% in SG, FCG, SCG, TGC and repeatabilities obtained as percentage. The clonal generations were planted in the dry, winter and rainy seasons. Repeatabilities were obtained in percentage according to the initial generations, as well as correlations of families means between generations. The simulation results showed the efficiency of family selection in SG and FCG for tuber specific gravity and FGC in the case of tuber yield. For tuber specific gravity it was observed that the FCG repeatabilities were higher than in SG at high intensities of selection. Selection intensity of 50% showed medium to high repeatability in both conditions mild and warm temperatures. There was no negative effect of family selection. Although correlations between family means are low among some generations the family selection shows up with greater robustness for clones selection. On the other hand correlation of individual clones in the SG and FCG with advanced generations to both characters showed that selection of individual clones is not recommended.

Keywords: Family selection. *Solanum tuberosum*. Computer simulation.

## 1 INTRODUÇÃO

Normalmente a estratégia de melhoramento em batata é baseada na seleção clonal (MACKAY, 1987; ROSS, 1986). Os cruzamentos são realizados entre os parentais de interesse, para se obter a maior quantidade de indivíduos possível. Os clones são avaliados e selecionados visualmente ou usando delineamentos estatísticos a partir da segunda geração clonal (SGC). Os caracteres que poderiam ser selecionados antes da SGC seriam caracteres com alta herdabilidade tais como cor e textura da película, formato de tubérculos e profundidade dos olhos (SCHAALJE; LYNCH; KOZUB, 1987). No intuito de reduzir significativamente o tamanho da população a ser testada em campo e reduzir os custos do processo de melhoramento, foi recomendada a seleção de famílias (SIMMONDS, 1996). Esta tem sido utilizada em plantas perenes e de reprodução vegetativa, como por exemplo, em acerola (PAIVA et al., 2002), cana-de-açúcar (JACKSON; MCRAE; HOGARTH, 1995; SKINNER; HOGARTH; WU, 1987) e em batata (BRADSHAW et al., 2000; BRADSHAW et al., 2009; GOPAL, 2001). Trabalhos de seleção de famílias desde a geração seedling (GS) em batata mostraram eficiência desta metodologia para vários caracteres quantitativos tais como produtividade, peso médio, número de tubérculos, etc. (BRADSHAW et al., 1998; BROWN; CALIGARI; MACKAY, 1987; GOPAL, 1997; NEELE; LOUWES, 1989).

No Brasil e especificamente nas regiões sul e do triângulo do Estado de Minas Gerais a batata é plantada três vezes por ano: safra da seca (janeiro-março), safra de inverno (abril-julho) e safra das águas (agosto-dezembro). Embora os produtores escolham locais com maior altitude para realizarem os seus plantios nas safras da seca e das águas, é comum ocorrerem períodos de temperaturas mais elevadas que aquelas adequadas à cultura. Temperaturas acima de 25 °C reduzem a produtividade, aumenta a incidência de doenças,

reduzem o teor de matéria seca dos tubérculos e aumentam a incidência de desordens fisiológicas (LEVI; VEILLEUX, 2007)

O efeito do calor na fisiologia das plantas é um assunto que está despertando maior interesse atualmente, pelo fato comprovado das mudanças climáticas globais e seu efeito desfavorável na produção e qualidade dos alimentos (DAMATTA et al., 2009; MAGRIN et al., 2007) . Hijmans (2003) estima que o Brasil reduziria a produção de batata em 23% até 2050 por efeito do calor. Levi e Veilleux (2007) fizeram uma revisão sobre o efeito adverso do calor em diferentes estágios do ciclo da cultura da batata e as estratégias que poderiam se utilizar para avaliar tolerância ao calor no nível de clones individuais. Uma dessas estratégias seria a obtenção de cultivares tolerantes.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da seleção precoce de famílias para produção e peso específico de tubérculos visando à tolerância ao calor, e identificar famílias promissoras para ambos os caracteres.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Clones avançados do programa de melhoramento de batata da Universidade Federal de Lavras (Ufla) foram intercruzados ou cruzados com cultivares para obtenção das progênes avaliadas neste estudo. Estes cruzamentos foram feitos visando à tolerância ao calor. Os clones parentais tolerantes ao calor selecionados a partir dos trabalhos feitos por Lambert e Pinto (2002), Menezes et al. (2001) e Simon (2005) (Tabela 1). Os experimentos foram realizados na área experimental do Departamento de Biologia da UFLA.

Foram avaliadas 30 progênes, cada progênie representada por ~85 clones em média na geração seedling (GS) e cultivadas em vasos dentro de casa de vegetação. Foram utilizados 40, 30, 24 e 20 indivíduos por família na primeira (PGC), segunda (SGC), terceira (TGC) e quarta (QGC) geração clonal. A colheita da GS foi em nível de planta individual sendo escolhido apenas um tubérculo de cada clone. O peso específico de tubérculos foi calculado pelo método do peso no ar e peso na água, obtidos em balança hidrostática para cada família. As demais gerações foram plantadas em delineamento de blocos casualizados completos com quatro repetições. O espaçamento entre plantas foi de 0,5 x 0,8 m.

As colheitas e avaliações de produtividade e PE foram realizadas em nível de plantas individuais dentro de cada parcela. Também desde a GS até a SGC, nos mesmos experimentos, foram avaliados 80 clones pertencentes a quatro famílias para verificar a correlação em nível de planta individual.

Foram calculadas as médias ajustadas de quadrados mínimos para cada família em cada geração. A repetibilidade das famílias foi avaliada por dois métodos, primeiro através de correlações entre as médias de famílias ajustadas entre todas as gerações, e segundo por meio de simulação computacional via programação na linguagem R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2008). Para

tanto, foram classificadas as famílias em cada geração e simuladas seleções de famílias utilizando as mesmas intensidades de seleção aplicadas a todas as gerações. A repetibilidade foi calculada como a porcentagem de famílias coincidentes na geração seguinte tomando como referência a GS ou PGC.

Tabela 1 Genealogia das progênes avaliadas para tolerância ao calor

Progênie	Pedigree
CTB 1	CBM 05-08 x ESL 02-18
CTB 3	Naturela x SR1 11-03
CTB 4	Isabel x GSI 08-03
CTB 5	Cupido x SR1 11-03
CTB 7	CBM 05-08 x CBM 07-03
CTB 9	CBM 05-08 x CBM 07-38
CTB 10	Asterix x SR1 04-19
CTB 11	Markies x SR1 04-19
CTB 12	Atlantic x GSI 08-03
CTB 14	CBM 05-08 x CBM 07-31
CTB 15	CBM 10-02 x CBM 05-08
CTB 16	CBM 16-16 x ESL 02-18
CTB 17	CBM 05-08 x CBM 07-30
CTB 20	CBM 05-08 x CBM 04-02
CTB 22	CBM 11-10 x CBM 05-08
CTB 26	Monalisa x CBM 22-19
CTB 27	Asterix x CBM 22-19
CTB 29	Vivaldi x PRM 467
CTB 31	Markies x GSI 08-03
CTB 32	Monalisa x SR1 11-03
CTB 33	Monalisa x SR1 04-19
CTB 34	Cupido x SR1 04-19
CTB 36	Ona x CBM 08-20
CTB 37	Pukara x CBM 08-17
CTB 38	Ona x CBM 08-17
CTB 39	Vivaldi x CBM 02-21
CTB 40	CBM 02-21 x Naturela
CTB 42	SR1 11-03 x Naturela
CTB 45	Desiree x MHB 38-35
CTB 49	CBM 16-16 x ESL 09-04

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os clones CBM, ESL, GSI e SR1 que foram os genitores dos clones avaliados neste estudo apresentam na sua ascendência os clones LT-7, LT-9 e DTO-28, os quais foram liberados como tolerantes ao calor pelo CIP (Centro Internacional de La Papa). Assim cada família deste estudo teve na sua ascendência um ou mais clones tolerantes ao calor.

Temperaturas elevadas durante o período de tuberização foram observadas nas safras da seca e águas (tabela 2). Nestas safras a frequência de temperaturas superiores a 20 °C foram maiores a 45,9%. As temperaturas mais altas foram registradas para a safra das águas na QGC sendo 58,3% as frequências de temperaturas superiores a 20 °C. A safra de inverno da TGC apresenta as condições mais favoráveis para a cultura da batata, apresentado 78,7% de frequência de temperaturas menores de 20 °C (tabela 2).

Tabela 2 Distribuição da temperatura em porcentagens durante o período de tuberização (40 a 100 dias após o plantio) para os experimentos avaliados

Geração	Época	Safra	Temperatura (°C)					
			<10	10-15	15-20	20-25	25-30	>30
GS	Abr-Ago 2007	CV						
PGC	Dez 2007-Abr 2008	Seca	0	2,1	50	26	20,8	1,1
SGC	Set 2008-Jan 2009	Águas	0	8,3	45,8	28,1	13,5	4,3
TGC	Abr-Ago 2009	Inverno	8,9	36,5	33,3	17,7	3,1	0,5
QGC	Nov 2009-Mar 2010	Águas	0	0	41,7	27,1	24	7,2

CV: Casa de vegetação; GS: geração seedling; PGC, SGC, TGC, QGC: primeira, segunda, terceira e quarta geração clonal

Fonte: (INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS - IPE, 2010)

Na tabela 3 são apresentadas as correlações entre gerações para produtividade de tubérculos. Foram observadas correlações significativas de moderadas a baixas para produtividade em nível de famílias. Em nível de clones individuais as correlações foram ainda mais baixas e significativas apenas entre a primeira e segunda gerações clonais (tabela 3). Esse resultado indica que não seria aconselhável realizar a seleção para produtividade de tubérculos de clones individuais nas gerações precoces (GS e PGC) como também foi demonstrado por Brown et al. (1987), Caligari, Brown e Abbott, (1986), Martin (1984) e Swiezynski (1984).

Tabela 3 Correlações de Pearson entre gerações, para produtividade de tubérculos. Acima da diagonal, correlações em nível de famílias e abaixo, em nível de indivíduos. GS, PGC, SGC, TGC e QGC: geração seedling, primeira segunda, terceira e quarta respectivamente

	<b>GS</b>	<b>PGC</b>	<b>SGC</b>	<b>TGC</b>	<b>QGC</b>
<b>PGC</b>	-0,09 <sup>ns</sup>		0,60**	0,37*	0,57**
<b>SGC</b>	-0,002 <sup>ns</sup>	0,34**		0,60**	0,49**
<b>TGC</b>					0,29 <sup>ns</sup>

\*, \*\*: significativo a 5 e 1%, respectivamente

De forma geral as correlações entre gerações foram mais baixas que as observadas por Kumar e Gopal (2006). Provavelmente as menores correlações observadas no presente estudo se devem às temperaturas mais altas, indicando a maior dificuldade em se praticar a seleção precoce para produtividade de tubérculos em condições de calor. As correlações entre a PGC com a SGC e QGC, embora moderadas demonstram que a seleção de famílias poderia ser realizada com algum sucesso na PGC para ambos caracteres. As correlações que envolvem a TGC com as demais gerações foram, de maneira geral, inferiores. A TGC foi cultivada em condições de inverno, contrastando com as outras gerações que foram cultivadas em temperaturas mais elevadas (Tabela 2). Isto

foi corroborado quando se observou os componentes da variância da interação famílias x safras, representando 27% da variação fenotípica de famílias.

No caso do peso específico (PE) existem escassos trabalhos envolvendo a seleção de famílias. Esta situação pode ser devida ao fato que essa é uma característica importante apenas em gerações mais avançadas, quando se quer avaliar a qualidade dos clones selecionados (CAPEZIO; HUARTE; CARROZZI, 1993).

Pode-se observar que todas as correlações foram significativas e mais altas que as correlações para produtividade de tubérculos (Tabela 4). Isto indicaria que a seleção de famílias para peso específico de tubérculos em gerações precoces (GS e PGC) propiciaria maiores ganhos que a seleção para produtividade de tubérculos. À semelhança do que ocorreu para a produtividade, a correlação para peso específico de tubérculos a nível de clones individuais também foram baixas e não significativas. Isto demonstra que a seleção de clones para este caráter também não deveria ser realizadas nas gerações precoces (GS e PGC). De maneira geral as correlações de peso específico entre PGC e as demais gerações foram superiores às correlações entre a GS e as demais gerações (Tabela 4). Isso evidencia que o sucesso com a seleção para peso específico de tubérculos seria maior na seleção praticada na PGC.

Tabela 4 Correlações de Pearson entre gerações, para peso específico de tubérculos. Acima da diagonal, é em nível de famílias e abaixo, em nível de indivíduos. GS, PGC, SGC, TGC e QGC: geração seedling, primeira segunda terceira e quarta respectivamente)

	<b>PGC</b>	<b>SGC</b>	<b>TGC</b>	<b>QGC</b>
<b>GS</b>	0,59**	0,60**	0,48**	0,45*
<b>PGC</b>		0,82**	0,66**	0,77**
<b>SGC</b>	0,21 <sup>ns</sup>		0,59**	0,78**
<b>TGC</b>				0,57**

\*, \*\*: significativo a 5 e 1%, respectivamente

Ao contrário do que foi verificado para produtividade de tubérculos, as correlações entre a TGC e as demais gerações apresentaram valores semelhantes. Esses resultados provavelmente se devem à inexistência de interação famílias x safras para peso específico. Considerando a análise conjunta de famílias foi verificada que a variação devida à interação famílias x safras representa 9%, valor bem mais baixo que para produtividade.

Os resultados da simulação para avaliar a intensidade de seleção e a repetibilidade de famílias para produtividade são mostrados no Gráfico 1. Para entendimento dos resultados da simulação é preciso lembrar que a seleção de famílias em função da classificação em uma geração anterior pode ser favorável, desfavorável ou neutra. Se for favorável a repetibilidade será superior ao valor nominal da intensidade de seleção utilizada. Se for desfavorável será inferior e se for neutra será igual ao valor nominal da intensidade de seleção.

No Gráfico 1, observam-se as repetibilidades de famílias para produtividade de tubérculos entre a safra da seca (PGC) com as demais. Observa-se que intensidades de seleção superiores a 25% podem ser utilizadas na PGC para este caráter, quando a seleção é realizada no calor (PGC) com resposta em condições semelhantes (SGC e QGC). No entanto, a seleção de famílias no calor com resposta na safra de inverno (TGC) foi favorável em intensidades mais fracas (>30%). Portanto, intensidades de seleção maiores que 30% mostram repetibilidades semelhantes em condições de calor ou inverno. Isto indicaria que a seleção de famílias para produtividade visando tolerância ao calor poderia ser praticada no calor e na PGC com resposta positiva a qualquer ambiente desde que as intensidades de seleção sejam menores a 30%. Esta idéia é concordante com os trabalhos feitos em batata por Brown, Caligari e Mackay (1987) e em cana Jackson, McRae e Hogarth (1995). Uma forma de aproveitar a seleção de famílias para produtividade seria avaliar maior quantidade de famílias

em casa de vegetação, ou na PGC, em condições de calor, aplicando intensidades de seleção elevadas (HOGARTH; WU; HEINZ, 1997).

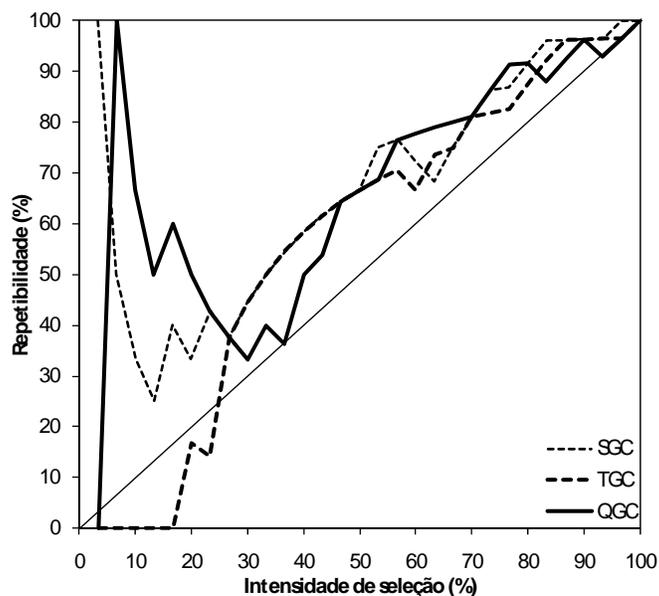


Gráfico 1 Simulações de repetibilidade de famílias aplicando diferentes intensidades de seleção para produtividade na primeira geração clonal

No caso da simulação de seleção de famílias para peso específico de tubérculos pode-se observar as repetibilidades em função da GS (Gráfico 2A) e PGC (Gráfico 2B). De forma semelhante ao caso da produtividade de tubérculos, a seleção de famílias para peso específico com intensidades mais fortes (<10%) só poderiam ser utilizadas quando a seleção é realizada em condições de calor (PGC < SGC e QGC). A GS conduzida em casa de vegetação poderia ser utilizada para se fazer seleção de famílias para peso específico com intensidades acima de 20% em todas as gerações clonais. Contudo, as respostas da seleção nas gerações clonais conduzidas em condições de temperaturas mais elevadas (PGC, SGC e QGC) foram ligeiramente superiores (Gráfico 2A).

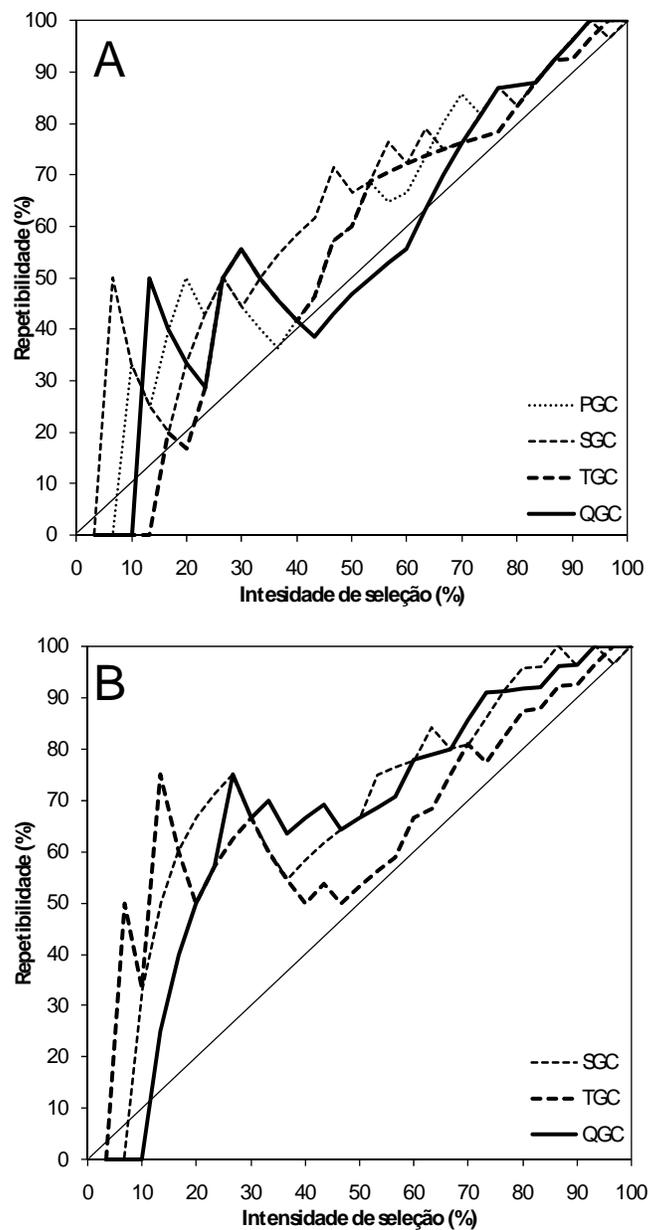


Gráfico 2 Simulações de repetibilidade de famílias aplicando intensidades de seleção, para peso específico de tubérculos, na geração seedling (A) e primeira geração clonal (B)

Quando a seleção de famílias para peso específico é realizada na PGC observou-se maior repetibilidade que na GS em intensidades entre 10 a 30%, indicando a maior eficiência da seleção de famílias na PGC (Tabela 2B).

No Gráfico 3 são mostradas as simulações onde se avalia a repetibilidade das famílias selecionadas em condições de temperaturas amenas (TGC) e sua resposta no calor (QGC), para produtividade (Gráfico 3A) e peso específico de tubérculos (Gráfico 3B). Observa-se que a seleção de famílias para produtividade apresentou repetibilidades próximas do valor nominal de intensidades de seleção (Gráfico 3A), indicando que não haveria nenhuma vantagem praticar a seleção. Já para peso específico observam-se repetibilidades maiores para a produtividade e utilizando intensidades de seleção mais fortes (Gráfico 3B). Estes resultados apoiam a ideia de que a seleção de famílias para peso específico em condições de temperaturas amenas poderia promover algum ganho em condições de calor.

Embora o modelo teórico de Casler e Brummer (2008) propõe aplicar intensidade de seleção mais fraca entre famílias para depois aplicar uma intensidade igual ou maior dentro de famílias clonais, pelos resultados obtidos se evidenciou que as intensidades a serem aplicadas dependem do caráter a ser selecionado. No caso da seleção de famílias para resistência a doenças, Bradshaw et al. (2009) aplicaram intensidades de seleção entre 20 a 30% avaliando mais de 120 famílias em casa de vegetação.

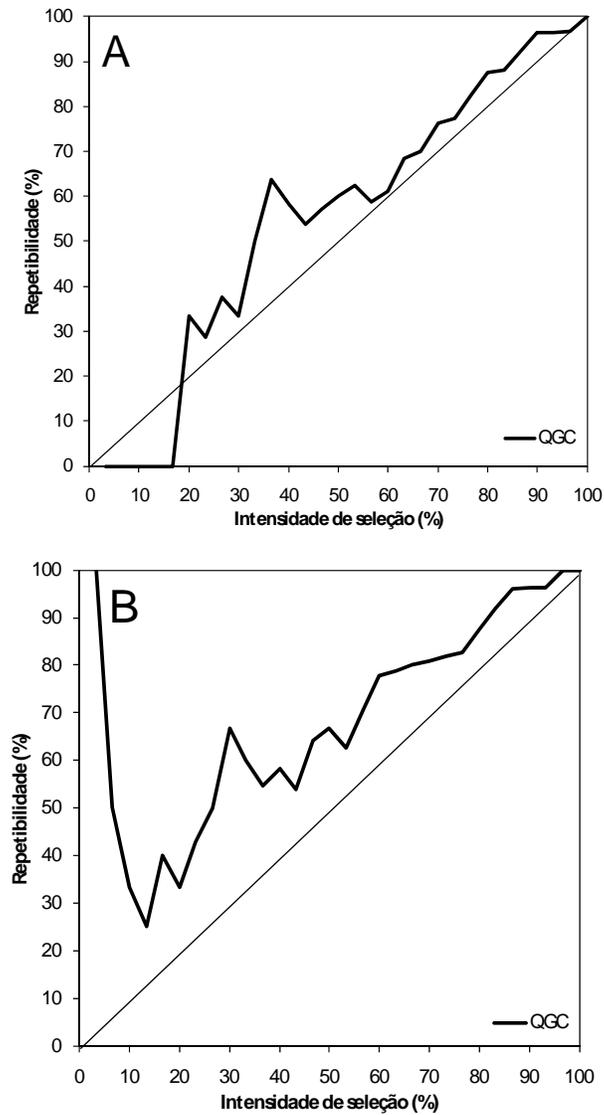


Gráfico 3 Simulações de repetibilidade de famílias aplicando diferentes intensidades de seleção para produtividade (A) e peso específico de tubérculos (B) no inverno (TGC) com resposta no calor (QGC). TGC e QGC: terceira e quarta geração clonal respectivamente

Nos Gráficos 4 e 5 são mostradas os valores das médias ajustadas de famílias para produtividade e peso específico de tubérculos, em condições de temperaturas amenas (TGC) e de calor (QGC). Foram observadas nove famílias com médias superiores de produtividade em ambas as condições de temperatura (Gráfico 4, quadrante I). Para conseguir selecionar sete dessas famílias na PGC seria preciso aplicar intensidade de seleção de famílias de 47%.

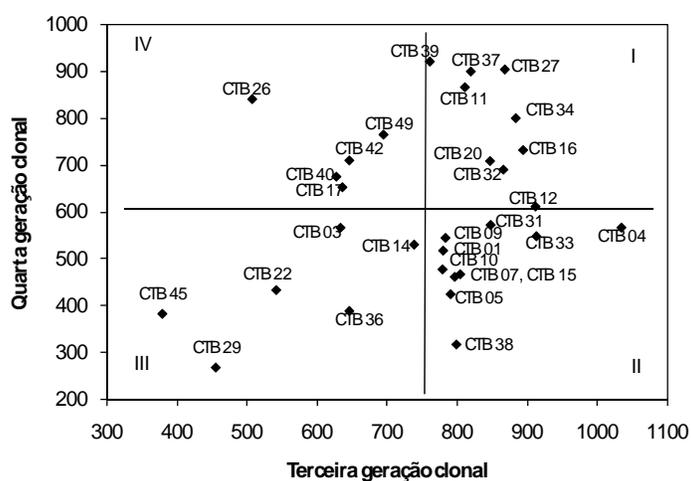


Gráfico 4 Médias de famílias para produtividade ( $\text{gr.pl}^{-1}$ ) no calor (QGC) e no inverno (TGC). TGC e QGC: terceira e quarta geração clonal respectivamente

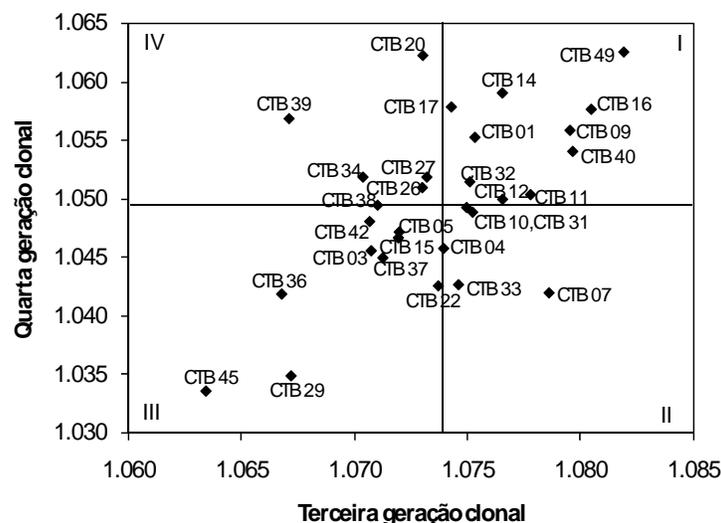


Gráfico 5 Médias de famílias para peso específico no calor (QGC) e no inverno (TGC). TGC e QGC: terceira e quarta geração clonal respectivamente

De forma análoga para peso específico de tubérculos foram observadas 10 famílias com médias acima da média geral em condições de calor (QGC) e inverno (TGC). A seleção de nove dessas famílias na GS seria conseguida utilizando intensidade de 57%. Utilizando a PGC seis dessas famílias seriam selecionadas com intensidade de 20%. Isso indicaria que a seleção de famílias para peso específico pode ser realizada com sucesso na GS, desde que a intensidade de seleção seja fraca.

Apenas quatro famílias mostraram médias superiores à média geral nas condições contrastantes para ambas as características, estas são: CTB 11, CTB 12, CTB 16 e CTB 32. Portanto a exploração destas famílias provavelmente viabilize a obtenção de clones adaptados a temperaturas amenas, mas se as condições de temperatura se elevassem estes clones ainda assim seriam produtivos e com alto peso específico.

#### **4 CONCLUSÕES**

Em condições de calor a seleção precoce de famílias pode ser aplicada para produtividade e peso específico.

De forma geral intensidades de seleção de famílias de 20 a 60% propiciam a obtenção de famílias que apresentam produtividade e peso específico com médias altas em condições de temperaturas amenas e de calor.

A seleção de clones individuais seja em GS ou PGC não é recomendável para produtividade e peso específico de tubérculos.

A seleção de famílias para peso específico se mostrou mais eficiente que para produtividade e pode ser aplicada desde a GS.

## REFERÊNCIAS

BRADSHAW, J. E. et al. Early-generation selection between and within pair crosses in a potato (*Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum*) breeding programme. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 97, p. 1331-1339, 1998.

BRADSHAW, J. E.; DALE, M. F. B.; MACKAY, G. R. Improving the yield, processing quality and disease and pest resistance of potatoes by genotypic recurrent selection. **Euphytica**, Wageningen, v. 172, p. 215-227, 2009.

BRADSHAW, J. E.; TODD, D.; WILSON, R. N. Use of tuber progeny tests for genetical studies as part of a potato (*Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum*) breeding programme. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 100, n. 5, p. 772-78, 2000.

BROWN, J.; CALIGARI, P. D. S.; MACKAY, G. R. The repeatability of progeny means in the early generations of a potato breeding programme. **Annals of Applied Biology**, Helsinki, v. 110, n. 2, p. 365-370, 1987.

BROWN, J. et al. The efficiency of visual selection in early generations of a potato breeding programme. **Annals of Applied Biology**, Helsinki, v. 110, n. 2, p. 357-363, 1987.

CALIGARI, P. D. S.; BROWN, J.; ABBOTT, R. J. Selection for yield and yield components in the early generations of a potato breeding programme. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 73, n. 2, p. 218-222, 1986.

CAPEZIO, S.; HUARTE, M.; CARROZZI, L. Selección por peso específico en generaciones tempranas en el mejoramiento de la papa. **Revista Latino Americana de la papa**, Bogotá, v. 5/6, p. 54-63, 1993.

CASLER, M. D.; BRUMMER, E. C. Theoretical Expected Genetic Gains for Among-and-Within-Family Selection Methods in Perennial Forage Crops. **Crop Science**, Madison, v. 48, n. 3, p. 890-902, 2008.

DAMATTA, F.M. et al. Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. **Food Research International**, Toronto, v. 43, n. 7, p. 1814-1823. 2009.

GOPAL, J. Between and within variation and family selection in potato breeding programmes. **Journal of Genetics and Breeding**, Roma, v. 36, p. 201-208, 2001.

GOPAL, J. Progeny selection for agronomic characters in early generations of potato breeding programme. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 95, n. 3, p. 307-311, 1997.

HIJMANS, R. J. The effect of climate change on global potato production. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 80, n. 4, p. 271-279, 2003.

HOGARTH, D. M.; WU, K. K.; HEINZ, D. J. Estimating genetic variance in sugarcane using a factorial cross design. **Crop Science**, Madison, v. 21, p. 21-25, 1981.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Disponível em: <[http://satelite.cptec.inpe.br/PCD/historico/consulta\\_pcda.jsp](http://satelite.cptec.inpe.br/PCD/historico/consulta_pcda.jsp)>. Acesso em: 7 mar. 2010.

JACKSON, P. A.; MCRAE, T. A.; HOGARTH, D. M. Selecting sugarcane families across variable environments. Sources of variation and an optimal selection index. **Field Crops Res**, Amsterdam, v. 43, p. 109-118, 1995.

KUMAR, R.; GOPAL, J. Repeatability of progeny mean, combining ability, heterosis and heterobeltiosis in early generations of a potato breeding programme. **Potato Research**, Wageningen, v. 49, p. 131-141, 2006.

LAMBERT, E. S.; PINTO, C. A. B. P. Agronomic performance of potato interspecific hybrids. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 2, n. 2, p. 179-188. 2002.

LEVY, D.; VEILLEUX, R. E. Adaptation of Potato to High Temperatures and Salinity-A Review. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 84, p. 487-506, 2007.

MACKAY, G. R. Selecting and breeding for better potato cultivars. In: ABBOTT, A. J.; ATKIN, R. K. (Ed.). **Improving vegetatively propagated crops**. London: Academic, 1987. 416 p.

MAGRIN, G. et al. **Latin America: climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability**. Cambridge: Cambridge University, 2007. p. 581-615.

Disponível em: < <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/-wg2-chapter13.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2010.

MARTIN, M. W. Early generation selection methods for resistance and horticultural factors. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 61, n. 7, p. 383-384, 1984.

MENEZES, C. B. et al. Combining ability of potato genotypes for cool and warm season in Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 1, n. 2, p. 145-157, 2001.

NEELE, A. E. F.; LOUWES, K.M. Early selection for chip quality and dry matter content in potato seedling populations in greenhouse or screenhouse. **Potato Research**, Wageningen, v. 32, p. 293-300, 1989.

PAIVA, J. R. et al. Genetic progress of selections between and within caribbean cherry open pollination progenies. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 2, n. 2, p. 299-306, 2002.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: Foundation for Statistical Computing, 2008.

ROSS, H. Potato breeding: problems and perspectives. In: **ADVANCES in Plant Breeding 13**. Berlin: Paul Parey, 1986. 132 p.

SCHAALJE, G. B.; LYNCH, D.R.; KOZUB, G. C. Field evaluation of a modified augmented design for early stage selection involving a large number of test lines without replication. **Potato Research**, Wageningen, v. 30, p. 35-45, 1987.

SIMMONDS, N. W. Family selection in plant breeding. **Euphytica**, Wageningen, v. 90, n. 2, p. 201-208, 1996.

SIMON, G. A. **Interação famílias por ambientes e seleção de clones de batata resistentes à pinta preta e tolerantes ao calor**. 2005. 114 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

SKINNER, J. C.; HOGARTH, D. M.; WU, K. K. Selection methods, criteria and indices. In: HEINZ, D. J. **Sugarcane improvement through breeding**. Amsterdam: Elsevier, 1987. p. 409-453.

SWIEZYNSKI, K. M. Early generation selection methods used in polish potato breeding. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 61, n. 7, p. 385-394, 1984.

## CAPÍTULO 3

### **Eficiência da seleção de famílias para a obtenção de clones de batata tolerantes ao calor**

#### **RESUMO**

A seleção de famílias tem sido um método recomendado para seleção de plantas de reprodução vegetativa, pela sua maior herdabilidade, bem como pela sua praticidade no processo de melhoramento. Então, para saber se sua utilidade pode ser evidenciada na seleção de clones tolerantes ao calor realizou-se uma série de experimentos em condições de calor e em temperaturas amenas. Foram avaliadas 30 famílias clonais com parentais tolerantes ao calor. Foram avaliados: produção de tubérculos por planta e peso específico. Depois de obtidas a geração seedling (GS) e a primeira geração clonal (PGC) foram conduzidas duas estratégias de avaliação simultaneamente por mais duas gerações. A nível de famílias e a nível de clones individuais, porém sem praticar seleção. Foram realizadas simulações de diferentes intensidades de seleção de famílias na GS e PGC e seu efeito nas gerações seguintes de seleção de clones. Os resultados indicam eficiência da seleção de famílias na GS e PGC para peso específico e na PGC para produtividade. Também, observou-se eficiência da seleção sequencial na GS e PGC para peso específico, sendo intensidades entre famílias na GS e na PGC de 60% as que produziram maiores respostas à seleção. Também para o mesmo caráter, foi observado que intensidades mais fracas (~60%) na GS e mais fortes (40%) na PGC têm maior eficiência na seleção de clones. As intensidades de seleção entre famílias adequadas para produtividade estariam entre 50 a 60%, obtendo melhores respostas no momento da seleção de clones individuais em condições de calor ou de temperaturas amenas. As herdabilidades entre famílias se mostraram mais elevadas que aquelas obtidas dentro de famílias, confirmando o maior potencial da seleção de famílias.

Palavras-chave: Seleção sequencial. Simulação computacional. *Solanum tuberosum*.

## ABSTRACT

Family selection has been recommended as a method for selection of plants with vegetative propagation, due to its higher heritabilities as well as its practicality in the process of improvement. To know if its usefulness can be demonstrated in selecting heat-tolerant clones a series of experiments were conducted under hot and mild temperatures. Thirty families with heat-tolerant parental clones were evaluated. The following traits were evaluated: tuber yield and tuber specific gravity. After obtaining the seedling generation (SG) and the first clonal generation (FCG) two evaluation strategies were conducted simultaneously by more two generations. At family level and individual clones but without achieve selection. Different family selection intensities were simulated in the SG and FCG and its effect on subsequent generations of clonal selection. The results indicate efficiency of family selection in the SG and FCG for tuber specific gravity and FCG for tuber yield. We also observed the efficiency of sequential selection in SG and FCG for tuber specific gravity, with 60% intensity between families in the SG e FCG producing greater responses to selection. Also for the same trait, it was observed that weaker intensities (~60%) in SG and stronger (~40%) in the FCG have greater efficiency in clonal selection. The selection intensities among families suitable for tuber yield would be between 50-60%, resulting in better response for individual selection of clones under both heat or mild conditions. Heritabilities among families were higher than those obtained within families, showing the greater potential for family selection.

Keywords: Sequential selection. Computer simulation. *Solanum tuberosum*.

## 1 INTRODUÇÃO

A seleção de famílias é uma alternativa à seleção de clones individuais (massal) e por muito tempo não tem sido utilizada no melhoramento genético de culturas de reprodução clonal. Entre as causas desta situação está a falta de precisão na estimação das variâncias entre e dentro de famílias, e também pelo trabalho que se tem em estimá-las (SIMMONDS, 1996).

A eficiência de seleção de famílias (progênies) sobre a seleção massal tem sido verificada em várias culturas, por exemplo, para produtividade em acerola (PAIVA et al., 2002), produtividade e outros componentes de qualidade em cana de açúcar (SKINNER; HOGARTH; WU, 1987), dendê (CEDILLO et al., 2008), pinus (REZENDE et al., 1995), seringueira (COSTA et al., 2000) e em batata (BRADSHAW et al., 1998; BRADSHAW et al., 2009; MELO, 2007; PEIXOUTO, 2009; SOUZA et al., 2005).

O alvo do melhoramento de batata é a seleção de clones. Portanto a seleção de famílias seria apenas uma estratégia inicial para reduzir o tamanho da população e viabilizar melhor avaliação de clones. Entre as estratégias de seleção de famílias foi proposto fazer seleção entre famílias de irmãos germanos de batata na geração seedling (GS) e primeira geração clonal (PGC) para resistência a doenças, deixando a seleção dentro para a segunda geração clonal (SGC) Bradshaw et al. (1998) e Bradshaw et al. (2009), adaptaram essas propostas, selecionando famílias para resistência a doenças na GS e selecionando clones dentro de famílias na PGC. Foram obtidas aproximadamente 130 famílias e as intensidades de seleção entre famílias foram de 20 a 30% e dentro de famílias entre 6 a 15%. Com essa estratégia um ciclo de seleção recorrente foi completado em três anos, realizando uma safra por ano. Porém não se tem estabelecido intensidades de seleção de famílias adequadas.

A partir do modelo teórico de Casler e Brumer (2008) foram sugeridas intensidades de seleção mais fracas entre famílias para depois aplicar uma intensidade igual ou maior dentro de famílias clonais. Esta seria uma forma que permitiria aumentar a intensidade de seleção de clones dentro de famílias.

Os objetivos deste trabalho foram avaliar a eficiência da seleção de famílias na GS e PGC no intuito de selecionar clones adaptados ao calor bem como determinar as intensidades de seleção apropriadas ao nível de famílias e de clones individuais para produtividade e peso específico de tubérculos.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Todas as atividades de plantio e seleção foram realizadas na área experimental do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. No ano 2004 e 2005 foram realizados cruzamentos biparentais, sendo obtidas 30 famílias clonais. Um ou ambos parentais apresentavam tolerância ao calor. Tais parentais foram obtidos por Lambert e Pinto (2002), Menezes et al. (2001) e Simon (2005). Em abril de 2006 a GS foi conduzida em casa de vegetação. As sementes botânicas foram semeadas em bandejas e transplantadas para vasos de plástico de 250ml após 20 dias. Por ocasião da colheita foi selecionado um tubérculo por planta, os quais juntos representaram a família, em cada família foi avaliada o peso específico de tubérculos.

Em dezembro de 2006 a PGC foi plantada no delineamento de blocos casualizados completos, com quatro repetições (safra da seca). A parcela foi constituída por 10 plantas (clones) numa fileira, com espaçamento de 0,50 m x 0,80 m. A colheita foi em nível de plantas individuais, sendo identificados os clones individualmente. A avaliação desses clones foi realizada para produtividade de tubérculos por planta e peso específico de tubérculos em balança hidrostática.

Na segunda geração clonal (SGC) foram plantados dois experimentos em setembro de 2008 (safra das águas). Um para avaliação de famílias e outro para avaliação de clones. O primeiro foi plantado no delineamento de blocos casualizados completos com quatro repetições e 10 plantas por parcela. O segundo experimento foi plantado no delineamento de blocos aumentados e três plantas por parcela e consistiu de aproximadamente 750 clones. No caso do experimento de clones foram avaliadas a produção comercial de tubérculos e peso específico de tubérculos.

Na safra de inverno (abril de 2009), a terceira geração clonal foi plantada em dois experimentos de forma semelhante ao da SGC. O experimento de famílias foi de blocos completos ao acaso, com quatro repetições e seis plantas por parcela e o experimento de clones no delineamento de blocos aumentados com parcelas de quatro plantas. O número de clones avaliados foi de 570 sendo avaliadas as mesmas características que na SGC.

Para a quarta geração clonal (QGC) foi plantado apenas um experimento de avaliação de famílias, com quatro repetições e parcelas de cinco plantas. As avaliações foram semelhantes à geração anterior.

Em todos os experimentos de avaliações de clones individuais foram utilizadas como testemunhas as cultivares Markies, Asterix e Monalisa. Nos experimentos de famílias as testemunhas foram Asterix, Atlantic e Markies, exceto para a PGC.

Foram calculadas as médias ajustadas de famílias e de clones, para cada safra e também a partir da análise conjunta. Também foram estimadas as variâncias genéticas entre, dentro de famílias, e as herdabilidades. A herdabilidade entre famílias ( $h_{fam}^2$ ) foi calculada ( $h_{fam}^2 = \sigma_F^2 / (\sigma_F^2 + \sigma_E^2)$ ), em que  $\sigma_F^2$ : variância entre famílias,  $\sigma_E^2$ : variância do resíduo. As variâncias obtidas dentro das testemunhas foram utilizadas como estimativas da variância ambiental dentro de famílias e empregadas para o cálculo da variância genética de clones dentro de famílias ( $\sigma_{DF}^2$ ) da seguinte forma:  $\sigma_{DF}^2 = \sigma_D^2 - \sigma_{DT}^2$  em que  $\sigma_D^2$  = variância fenotípica dentro de famílias,  $\sigma_{DT}^2$  = variância dentro de testemunhas. A herdabilidade de clones individuais ( $h_C^2$ ) foi calculada  $h_C^2 = (\sigma_F^2 + \sigma_{DF}^2) / (\sigma_F^2 + \sigma_D^2 + \sigma_E^2)$ . Empregou-se o método da máxima verossimilhança restrita (REML) pelo procedimento PROC MIXED do SAS.

Para simular o efeito da seleção de famílias na seleção de clones foram criados vetores da classificação das famílias para peso específico de tubérculos na GS e para peso específico e produtividade de tubérculos na PGC. Foram

criadas outros vetores contendo a classificação dos clones para produtividade ou para peso específico, identificados pela sua respectiva família, usando as médias da análise individual da SGC e TGC. Também foram simuladas várias intensidades de seleção sequencial de famílias (GS e PGC) para peso específico de tubérculos. Para tal fim foram selecionadas famílias na GS, e estas famílias avaliadas e selecionadas na PGC. Logo foi verificada a participação dessas famílias nos clones individuais selecionados na SGC e TGC.

Foi criado um algoritmo na linguagem R para simular diferentes intensidades de seleção de famílias na GS e PGC e várias intensidades de seleção de clones na SGC e TGC. A porcentagem de clones selecionados pertencentes às famílias selecionadas foi denominada de incidência de famílias.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em espécies de propagação vegetativa, como a batata, a seleção visual de clones nas gerações precoces (GS e PGC) não é eficiente e pode até mesmo representar uma escolha aleatória dos clones que vão prosseguir no processo de seleção (BROWN et al., 1987). A seleção de famílias é uma estratégia que aproveita as informações obtidas nas gerações precoces com a finalidade de reduzir o número de clones a serem avaliados nas gerações precoces. Vários trabalhos com batata mostraram eficiência da seleção de famílias em condições de temperaturas amenas na geração GS e PGC para vários caracteres (BRADSHAW et al., 1998; BRADSHAW et al., 2009). Porém não foram determinadas intensidades de seleção adequadas.

Nas simulações de seleção de famílias, de modo geral observa-se (Gráficos 1 a 3) que quanto mais forte for a intensidade de seleção de famílias menor é sua participação dentre os clones selecionados, independentemente da intensidade da seleção clonal. Por outro lado, quanto mais forte for a intensidade de seleção de clones, maior é a participação das famílias selecionadas nas gerações precoces. Resultados semelhantes foram relatados em estudos de simulação de seleção entre e dentro de famílias por Casler e Brummer (2008). Em batata, Melo (2007) trabalhando com batata desde a PGC até a TGC no nível de famílias, sugeriu intensidade de seleção de 50% entre famílias e 10% dentro. Peixoto (2009) também trabalhando com batata na quarta geração clonal verificou eficiência da seleção utilizando intensidade de 45% entre e 16% dentro. Segundo o modelo teórico de Simmonds (1996) utilizando 50 famílias foi demonstrado que 10% das famílias superiores conteriam 60% dos clones com melhor desempenho. Neste estudo foi verificado que 10% das famílias superiores representariam apenas até 20% dos clones com melhor desempenho (Gráficos 1 a 3). Isto poderia ser devido ao pequeno número de famílias

utilizadas no presente estudo, talvez com maior número de famílias se pudessem praticar intensidades mais fortes de seleção entre famílias.

No caso da seleção de famílias para peso específico de tubérculos na GS (casa de vegetação) observou-se eficiência da seleção de clones tanto na SGC quanto na TGC (Gráfico 1). Por exemplo, selecionando-se 50% das melhores famílias na GS e 10% dos melhores clones na SGC ou TGC, verificou-se que cerca de 70% a 80% desses clones pertenciam às famílias selecionadas (Gráfico 1A e 1B). Com intensidades de seleção de famílias de 30% a incidência de clones cai para 50% a 60% na SGC e TGC respectivamente (Gráfico 1A e 1B). A eficiência da seleção de famílias para peso específico em casa de vegetação (GS) pode ter ocorrido em função da pequena interação clones x ambientes para esse caráter. Enquanto que a SGC foi cultivada na safra das águas sob temperaturas mais elevadas a TGC foi conduzida na safra de inverno com temperaturas amenas. Resultados semelhantes foram observados para seleção de famílias realizada apenas na PGC (Gráfico 2). Com intensidades de seleção de 50 a 60% entre famílias e de 10% entre clones a incidência de famílias foi de 70 a 80% nos clones selecionados na SGC ou TGC; por outro lado, mantendo-se 10% de intensidade de seleção de clones e intensidades de seleção de famílias de 20% resultaram em incidências em torno de 40% de clones (Gráfico 2A e 2B).

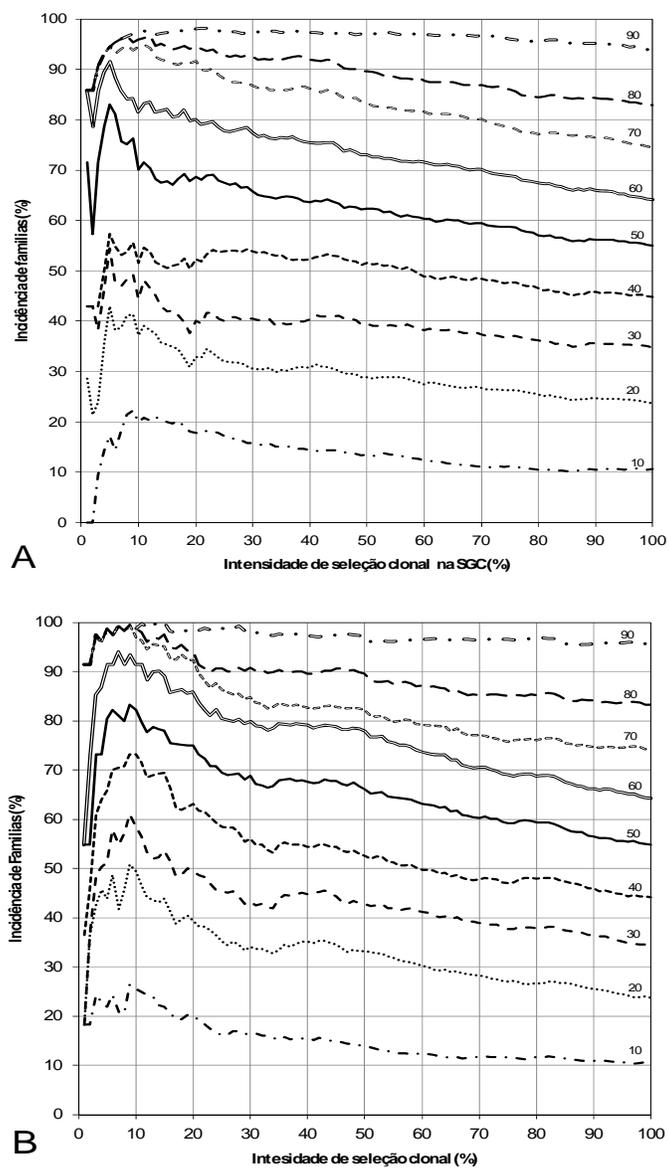
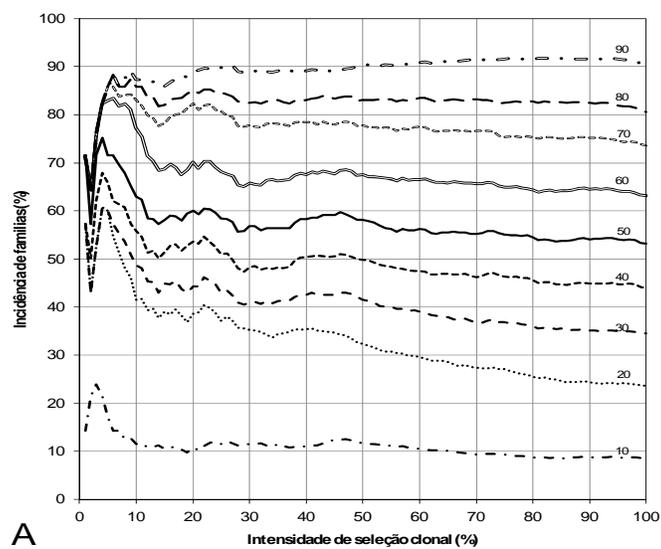
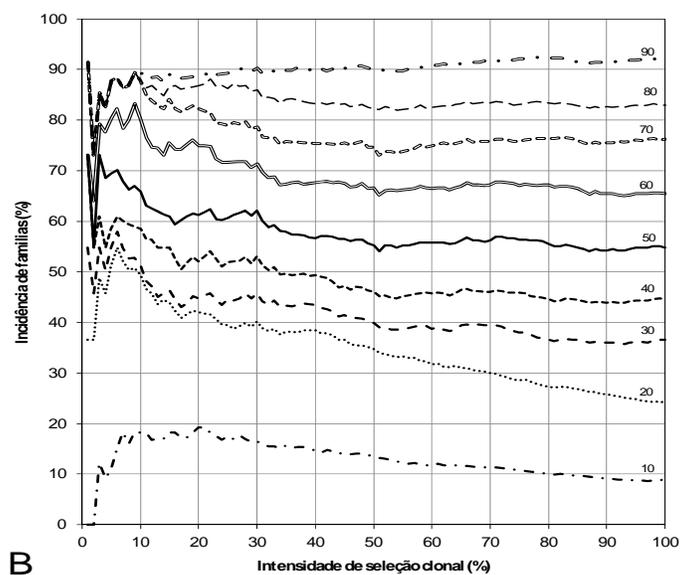


Gráfico 1 Porcentagem de clones selecionados para peso específico de tubérculos na segunda (A) e terceira (B) geração clonal pertencentes às famílias selecionadas na geração seedling (incidência de famílias). As linhas representam intensidades de seleção de famílias de 10% a 90%



A



B

Gráfico 2 Porcentagem de clones selecionados para peso específico de tubérculos na segunda (A) e terceira (B) geração clonal pertencentes às famílias selecionadas na primeira geração clonal (incidência de famílias). As linhas representam intensidades de seleção de famílias de 10% a 90%

Dessa forma, fica aparente que intensidades de seleção entre famílias de 50 a 60% propiciam as melhores incidências de famílias e permitem a eliminação de uma proporção razoável de clones que não seriam avaliados nas gerações subsequentes.

Os resultados comentados se referem à seleção de famílias realizada apenas na GS ou PGC. Uma alternativa seria realizar a seleção na GS e as famílias selecionadas novamente avaliadas e selecionadas na PGC (seleção sequencial). Assim, a intensidade final de seleção de famílias seria o produto das intensidades de seleção em cada geração. Por exemplo, considerando ainda o peso específico de tubérculos a seleção sequencial de famílias na GS e PGC teve como resultado cerca de 60 a 75% de incidência de famílias nos clones selecionados na SGC ou TGC (Gráfico 3) para intensidades de 36% (60% na GS e 60% na PGC) e 10% de intensidade de seleção clonal. Embora a incidência de famílias nas duas estratégias (seleção apenas na GS e PGC versus seleção sequencial: GS e PGC) não sejam muito diferentes, a seleção sequencial permite a eliminação de uma maior proporção de clones (intensidade de seleção mais forte). Isto indica que seria mais vantajoso utilizar esta estratégia em vez de aplicar seleção de famílias apenas na GS ou na PGC, além de reduzir o tamanho dos experimentos na PGC. Portanto, se poderia fazer seleção eficiente de famílias para peso específico tanto na GS como na PGC com resposta favorável na seleção de clones em temperaturas de calor ou amenas. Observa-se ainda (Gráfico 3) que no caso da seleção sequencial seria mais interessante aplicar uma seleção mais fraca na GS e mais forte na PGC. Com 60% de intensidade de seleção na GS e 40% na PGC (intensidade final de 24%) observou-se incidência de aproximadamente 50 a 60% com seleção de 10% de clones na SGC ou TGC. Por outro lado, com intensidades de 40% (GS) e 60% (PGC) a incidência de famílias ficou entre 30 a 50% na SGC e TGC, respectivamente.

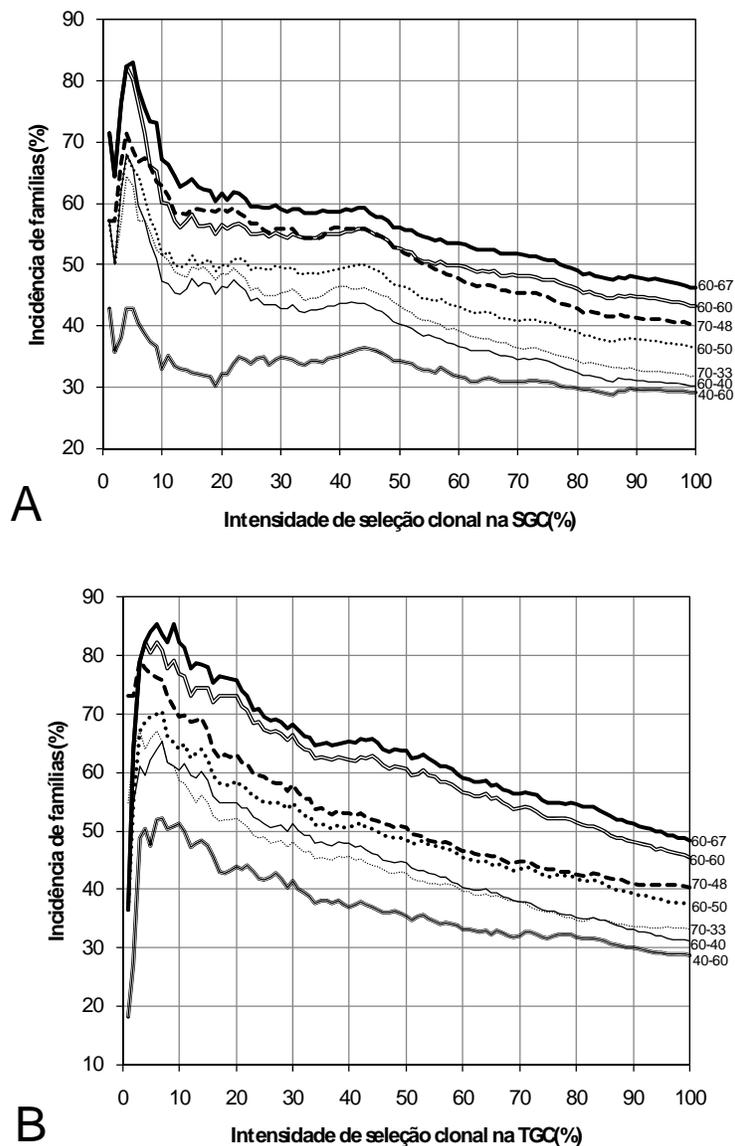
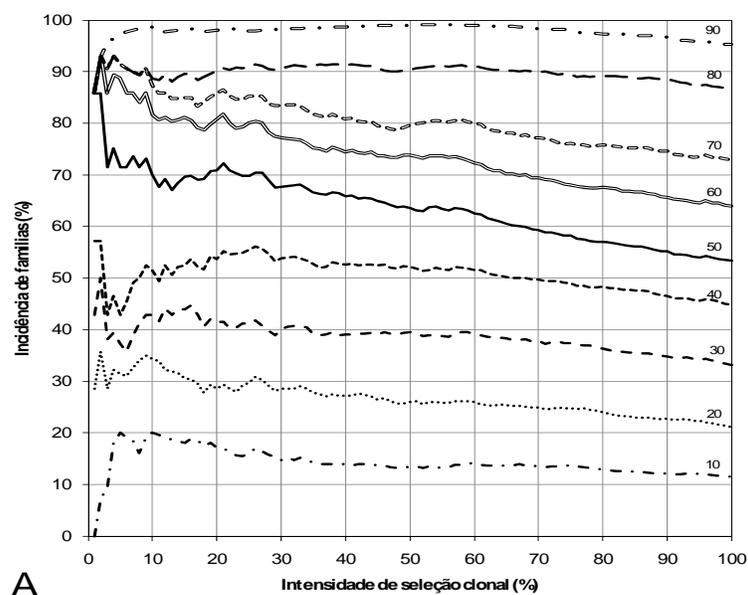
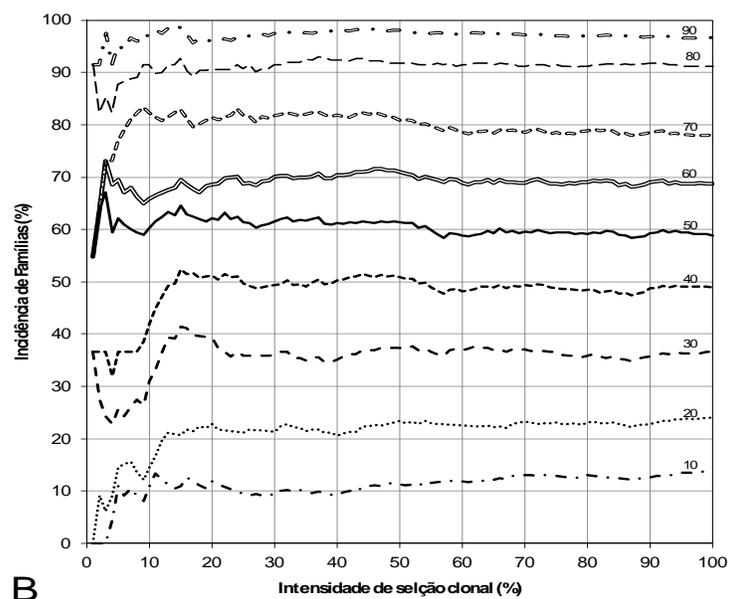


Gráfico 3 Porcentagem de clones selecionados para peso específico de tubérculos na segunda (A) e terceira (B) geração clonal pertencentes às famílias selecionadas sequencialmente (geração *seedling* e primeira geração clonal). As linhas representam as intensidades de seleção de famílias na GS e PGC

No Gráfico 4 são mostrados os resultados da seleção de famílias na PGC para produtividade de tubérculos. Basicamente, observaram-se os mesmos resultados da seleção de famílias para peso específico de tubérculos, ou seja, intensidades mais fracas de seleção de famílias permitem maior incidência de famílias. Observa-se ainda, que em condições de temperaturas mais elevadas (SGC) (Gráfico 4A) as incidências de famílias foram maiores para intensidades de seleção de famílias de 50 a 60% (70 a 80% de incidência, respectivamente). No caso de temperaturas amenas (TGC) a incidência de famílias para as mesmas intensidades de seleção foram de 60 a 65% (Gráfico 4B). Esses resultados são reflexo da interação clones x ambientes para produtividade de tubérculos. A PGC e SGC foram cultivadas sob condições mais semelhantes de temperatura, enquanto que a TGC foi conduzida sob temperaturas mais amenas que as registradas para PGC, onde ocorre a seleção de famílias.



A



B

Gráfico 4 Porcentagem de clones selecionados para produtividade na segunda (A) e terceira (B) geração clonal pertencentes às famílias selecionadas na primeira geração clonal (incidência de famílias). As linhas representam intensidades de seleção de famílias de 10% a 90%

Estes resultados indicam que a seleção de famílias na PGC visando tolerância ao calor para produtividade de tubérculos é mais eficiente quando a seleção de clones é realizada também em temperaturas elevadas.

Outra forma de visualizar a eficiência da seleção de famílias é através das estimativas da  $h^2$ , na Tabela 1 são mostradas estas estimativas entre e dentro de famílias para os caracteres estudados. As  $h^2$  para peso específico de tubérculos foram maiores ou semelhantes às  $h^2$  para produtividade de tubérculos dependendo da geração. As estimativas da  $h^2$  entre famílias para peso específico de tubérculos variaram entre 0,64 (QGC) e 0,92 (TGC) e para produtividade entre 0,28 (SGC) e 0,80 (PGC). Estes valores concordam com outros trabalhos embora em nível de famílias de meios-irmãos para peso específico de tubérculos: 0,43 (RUTTENCURTER; HAYNES; MOLL, 1979), 0,50 e 0,90 (CAPEZIO; HUARTE; CARROZZI, 1993), 0,45 a 0,83 (MELO, 2007). Assim também a  $h^2$  entre famílias para produtividade de tubérculos variou em outros trabalhos entre 0,38 a 0,63 (MELO, 2007) e 0,60 (PEIXOUTO, 2009). Contudo no presente trabalho as  $h^2$  em nível de clones individuais foram sempre inferiores, entre 0,32 (PGC) e 0,58 (SGC) para peso específico e 0,01 e 0,19 para produtividade de tubérculo. Também isto foi observado por Melo (2007) onde encontrou  $h^2$  dentro de famílias variando de 0,14 a 0,68 para produtividade avaliando desde a PGC até a TGC e 0,10 a 0,78 para peso específico de tubérculos. Estes resultados indicam baixa eficiência de seleção de clones individuais na PGC. Por esta razão a seleção de indivíduos não é recomendável para este caráter (CALIGARI et al., 1986; MARTIN, 1984; SWIEZYNSKI, 1984), o que reforça a importância da seleção de famílias.

Tabela 1 Estimativas da herdabilidade a partir de experimentos de famílias em diferentes gerações

Caráter	Geração	$\sigma_F^2$	$\sigma_{DF}^2$	$h_F^2$	$h_I^2$
Produção	1	20167		0,80	0,12
Peso específico	1	3,50E-05		0,79	0,32
Produção	2	8058	9013	0,28	0,01
Peso específico	2	3,20E-05	6,1E-05	0,76	0,58
Produção	3	7519,99	19796	0,34	0,12
Peso específico	3	1,40E-05	3,8E-05	0,92	0,51
Produção	4	20167	12262	0,71	0,19
Peso específico	4	3,50E-05	4,3E-05	0,64	0,48

$\sigma_F^2$ : Variância genética entre famílias;  $\sigma_{DF}^2$ : Variância genética dentro de famílias;  $h_F^2, h_I^2$ : herdabilidade de famílias no sentido amplo e de planta individual respectivamente

Em geral, intensidades moderadas de seleção de famílias com intensidades fortes de seleção dentro de famílias promoveriam a seleção de clones superiores. Portanto, a sugestão de Casler e Brummer (2008) e Hogarth, Wu e Heinz (1997) de avaliar maior número de famílias reduzindo o número de indivíduos por família parece ser mais adequada ao melhoramento de batata visando tolerância ao calor. Uma forma de fazer isto é avaliar maior número de famílias com poucos clones (~20), e ao mesmo tempo multiplicar os clones remanescentes das famílias. Uma vez feita a seleção de famílias, os clones remanescentes seriam utilizados nos experimentos de seleção clonal.

#### 4 CONCLUSÕES

A seleção de famílias para peso específico pode ser feita em gerações precoces (GS e PGC) independente das condições de temperatura onde seria realizada a seleção de clones individuais. A seleção sequencial de famílias com intensidade de 60% na GS e 60% na PGC promoveria maior eficiência da seleção de clones na SGC ou TGC. No caso de utilizar seleção sequencial de famílias (GS e PGC) com intensidades mais fortes, intensidades mais fracas na GS (~60%) e mais fortes na PGC (~40%) mostraram maior eficiência.

A seleção de famílias para produtividade poderia ser praticada na primeira geração clonal desde que a seleção de clones não fosse realizada em condições contrastantes de temperatura. Intensidades de seleção de famílias entre 50 a 60% mostraram o maior ganho.

As estimativas da  $h^2$  em nível de famílias foram sempre superiores às  $h^2$  em nível de clones e corroboram com a maior eficiência da seleção de famílias nas gerações precoces.

## REFERÊNCIAS

- BRADSHAW, J. E. et al. Early-generation selection between and within pair crosses in a potato (*Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum*) breeding programme. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 97, p. 1331-1339, 1998.
- BRADSHAW, J. E.; DALE, M. F. B.; MACKAY, G. R. Improving the yield, processing quality and disease and pest resistance of potatoes by genotypic recurrent selection. **Euphytica**, Wageningen, v. 170, n. 1/2, p. 215-227, 2009.
- BROWN, J. et al. The efficiency of visual selection in early generations of a potato breeding programme. **Annals of Applied Biology**, Helsinki, v. 110, n. 2, p. 357-363, 1987.
- CALIGARI, P. D. S.; BROWN, J.; ABBOTT, R. J. Selection for yield and yield components in the early generations of a potato breeding programme. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 73, n. 2, p. 218-222, 1986.
- CAPEZIO, S.; HUARTE, M.; CARROZZI, L. Selección por peso específico en generaciones tempranas en el mejoramiento de la papa. **Revista Latinoamericana de la papa**, Bogotá, v. 5, n. 6, p. 54-63, 1993.
- CASLER, M. D.; BRUMMER, E. C. Theoretical expected genetic gains for Among-and-Within-Family selection methods in perennial forage crops. **Crop Science**, Madison, v. 48, n. 3, p. 890-902, 2008.
- CEDILLO, D. S. O. et al. Selection among and within and combined selection in oil palm families derived from Dura x Dura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 65-71, 2008.
- COSTA, R. B. et al. Seleção combinada univariada e multivariada aplicada ao melhoramento genético da seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 381-388, 2000.
- HOGARTH, D. M; WU, K. K.; HEINZ, D. J. Estimating genetic variance in sugarcane using a factorial cross design. **Crop Science**, Madison, v. 21, p. 21-25, 1981.
- LAMBERT, E. S.; PINTO, C. A. B. P. Agronomic performance of potato interspecific hybrids. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 2, p. 179-188, 2002.

MARTIN, M. W. Early generation selection methods for resistance and horticultural factors. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 61, n. 7, p. 383-384, 1984.

MELO, D. S. **Viabilidade da seleção de famílias de batata em gerações precoces**. 2007. 127 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

MENEZES, C. B. et al. Combining ability of potato genotypes for cool and warm season in Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 1, n. 2, p. 145-157, 2001.

PAIVA, J. R. et al. Genetic progress of selections between and within caribbean cherry open pollination progenies. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 2, n. 2, p. 299-306, 2002.

PEIXOUTO, L. S. **Seleção de famílias vs. seleção clonal nas fases iniciais do melhoramento da batata**. 2009. 97 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

REZENDE, M. D. V. et al. Acuracia seletiva, intervalos de confiança e var de ganhos genéticos associados a 22 métodos de seleção em *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Floresta**, Curitiba, v. 25, n. 1/2, p. 3-16, 1995.

RUTTENCURTER, G.; HAYNES, F. L.; MOLL, R. H. Estimation of narrow-sense heritability for specific gravity in diploid potatoes (*Solanum tuberosum* subsp. *phureja* and *stenotomum*). **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 56, n. 9, p. 447-452, 1979.

SIMMONDS, N. W. Family selection in plant breeding. **Euphytica**, Wageningen, v. 90, n. 2, p. 201-208, 1996.

SIMON, G. A. **Interação famílias por ambientes e seleção de clones de batata resistentes à pinta preta e tolerantes ao calor**. 2005. 114 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

SKINNER, J. C.; HOGARTH, D. M.; WU, K. K. Selection methods, criteria and indices. In: HEINZ, D. J. **Sugarcane improvement through breeding**. Amsterdam: Elsevier, 1987. p. 409-453.

SOUZA, V. Q. et al. Potential of selection among and within potato clonal families. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 5, p. 199-206, 2005.

SWIEZYNSKI, K. M. Early generation selection methods used in polish potato breeding. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 61, n. 7, p. 385-394, 1984.